

PERMANENT INTERNATIONAL ASSOCIATION
OF
NAVIGATION CONGRESSES

X. CONGRESS - MILAN - 1905

I. Section : Inland Navigation
3. Question

INVESTIGATION OF THE METHODS BEST SUITED
FOR
Surmounting great Differences of Level
BETWEEN THE REACHES OF CANALS

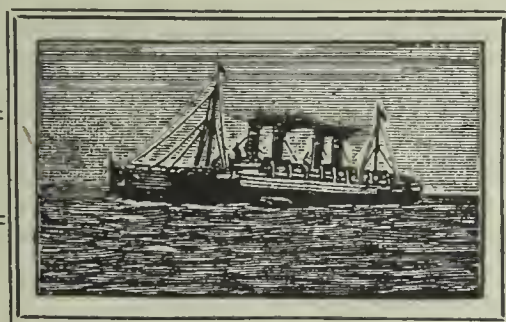
REPORT

BY

Mr. A. SMRCEK

Engineer, Professor at the I. R. Bohemian Technical High School in Brünn

NAVIGARE



NECESSE

BRUSSELS

PRINTING OFFICE OF THE PUBLIC WORKS (CO. LTD.)
18, Rue des Trois-Têtes, 18

1905

1870 1871 1872 1873

1874 1875 1876

1877 1878 1879 1880

1881 1882 1883 1884

1885 1886 1887 1888

1889 1890 1891 1892

Comparison of various systems of lifting boats, in respect of their working capacities and their importance as regards the proposed Danube-Oder Canal in Austria.

REPORT

BY

Antonin SMRČEK

Engineer, Professor at the I. R. Bohemian Technical High School in Brünn

Laying out the route of artificial waterways of great length is one of the most difficult problems an engineer has to solve ; one that is full of responsibilities, but at the same time full of interest.

In selecting such a route, the engineer has to pay due consideration not only to the configuration of the ground and the geological and meteorological features of the locality, but also to the volume and nature of the traffic that may be reckoned upon ; according to whether through traffic alone is to be provided for or local traffic also, and whether it will be uniformly distributed over the whole navigation season or confined to a few months only. Other important points to be considered will be a *cheap supply of water* for the canal and the best *method of surmounting changes in the levels*.

If a waterway is to be constructed which is to comply fully with all economical requirements, upon which, namely, bulky goods are to be carried at lower rates than by any other known means of transport, especially railways ; if, moreover, the canal is not only to benefit its two termini, but also the whole country traversed by it, in that case several alternative routes will have to be studied, plotted, worked out in detail and estimates prepared for them, before the final scheme is selected and the work is carried out. If this preliminary caution is neglected, one must be prepared for disagreeable surprises afterwards.

The *question of how to surmount changes in the levels* is one of the most important ones in laying out the route of a canal, especially when considerable heights are to be negotiated or high watersheds have to be crossed, as will be the case with various future Austrian canal schemes. One will always en-

deavour to place the summit reach as low as possible, and as economical considerations will allow, but at the same time one will not shrink, in very special cases, from considering the advisability of deep cuttings or tunnels, if works of this description would enable us to reduce considerably the height of the fall to be overcome and if at the same time a better supply of water could be provided for feeding the canal.

As it is impossible in the case of artificial waterways to overcome heights by gentle, long and continuous inclines, as in the case of rivers and railways, the canal is of necessity to be divided into various lengths or reaches situated at different levels.

The passage from one reach to the other is effected by means of some kind of *boat-lifting appliance*. It will be in the interest of the boat-traffic *to limit the number of changes in the levels to what is strictly necessary*, without, however, nursing an undue prejudice against these natural but as regards the traffic on, and the working capacity of the canal, necessary impediments, and without on the other hand prolonging unduly the time occupied in transit.

As regards economy, locks, lifts or inclines must not increase too much the costs of construction and maintenance or the working expenses of the canal; the route itself must not, in consequence of the system chosen for overcoming changes in the levels, be diverted to too great a distance from manufacturing centres usually situated along the valley, nor from existing inhabited places and human settlements, nor must it be carried along some out-of-the-way country with the sole object of negotiating a great fall in the canal level at some point fixed beforehand.

In order to avoid a crowding of boats at certain locks, lifts, &c., it will be necessary in the first place, in case the traffic is very brisk, to try, to arrange that *all locks, boat-lifts and inclines along the whole length of the canal should be of about the same working capacity*. If one of the boat-lifts should happen to be of somewhat less working capacity than the rest, it would seriously interfere with the traffic on the whole canal, even if a double shift of attendants were provided for the boat-lift in question and work carried on there night and day, while the working time at all the other lifts or locks was limited to 15 hours per day, an allowance as regards the length of working day upon which the working capacity of the canal has been calculated.

It is only natural that there should be *very few men to be found among the navigation fraternity who would favour the choice of a lift by which boats are raised and lowered dry and not afloat*. A boat used on inland waterways is, and always will be, a simple and very lightly built craft, considering the low price at which it must be obtainable, and the heavy cargoes it has to carry with the least possible draught, because it has not only to travel on canals with always an ample depth of water in them, but has to traffic on non-canalised rivers also in which the water is often very shallow. When transporting boats dry, there is always a risk of starting the joints, when the boats are heavily laden, owing to the variation in the pressure on the side walls ; and the want of uniformity in the pressure on the bottom is apt to produce leaks after several trips of that kind. If the fact is also borne in mind that the canal is not to be used exclusively by new but also by old and weak vessels, which might be used for local traffic for instance, it is only natural that all boat-lifting appliances are expected to comply with the boat-owners' reasonable requirements that their vessels should be lifted afloat, unless inland navigation is to be seriously interfered with.

The system of boat-lift to be chosen must accommodate itself to the configuration of the ground traversed by the canal and must not entail heavy earthworks or other works equally costly. The works, moreover, must not be endangered by sudden frosts, or by the action of wind or rain and must, besides, remain in perfect working order so long, as it is possible to carry on the traffic on the canal.

The working of the boat-lift and its upkeep must be easy, sure and not too costly. Another essential condition is that it should be possible to carry out with ease and expedition all necessary repairs, especially those to be executed after an accident — which cannot be avoided altogether in practice — so that in the case of a breakdown of the structure, navigation on the canal should not be stopped for any undue length of time.

Of all appliances hitherto constructed for lifting vessels of large dimensions, the ordinary, but modernised, *canal-lock* has proved itself to be the most perfect in working, if the quantity of water required for locking can be provided at a reasonable cost. The absolutely necessary quantity, however, is very considerable, when the fall is very great and the traffic very brisk, even when saving ponds are provided.

With a properly laid out canal and an appropriate arrangement of locks to suit the demands of the traffic, it is easy to

raise boats to a height of from 300 to 400 meters and to lower them again to an equal depth, by following closely the configuration of the ground as proved, for instance, in the case of the scheme for a canal from the Danube to the Moldau.

Where the height has to be surmounted *in cumulo* and the canal cannot be carried round in easier steps, a *flight of locks in double series* is the most suitable device to meet the demands of an intense traffic.

If, however, there should be a deficiency in locking water, the engineer who lays out the route, can make use of *vertical boat-lifts worked by floats or hydraulic presses*, which have answered well with differences in the levels of from 15 to 25 meters.

It may be desirable under very special conditions as regards the configuration of the ground, to have recourse to other kinds of appliances for raising vessels, when working out a canal scheme, especially to *inclines, that is, inclined tracks specially adapted for transporting vessels on rails*, for which ingenious schemes have been worked out, but which have, hitherto, only been used for boats of comparatively small sizes.

The question as to what type of boat-lifting device should be preferred, or what combination of several different types should be adopted on the same canal for a given volume of traffic, will in every instance have to be settled by a thorough investigation, which *will have to be made in reference to the whole length of the canal and not merely in reference to a limited portion of its length*.

The object of the present Report is *to investigate the question, what effect the choice of various types of boat-lifting appliances may have upon the working capacity of a canal and also upon the alignment of its route, on the assumption that similar operations will entail the same loss of time with various types of boat-lifting appliances*. The investigation is based on *results published on the occasion of the international competition instituted by the Austrian government in 1903 for a boat-lift to be erected at Anjezd on the line of the proposed canal between the Danube and the Oder*.

In order to have a safe basis for investigating different types of boat-lifts, it is proposed to describe the various manipulations and the order in which they have to be carried out with *standard 600-ton vessels*, it being assumed that *the lock, boat-lift or incline has been constructed in a faultless manner from an engineering point of view not only as a whole but also in all its mechanical details; that it is working without a hitch*

and that the working staff are experienced men. Any advantage due to any improvements introduced in a certain type of boat-lift, will, by the same right, be assumed to enhance the efficiency of all other types in respect of details of construction to which such improvements may be applicable.

With reference to the lengths of time required for carrying out certain manœuvres or operations, these were estimated upon the basis of data derived from actual practice with existing structures. These data were officially communicated to the writer and confirmed by him by personal observations. In the case of schemes not yet carried out, the allowances for time were estimated on the same basis.

The time required for warping a boat by means of a capstan into the movable tank of a lift, of a net length of 67 m., a width of 8.80 m. and a water depth of 2.50 m. will be reckoned at *4 minutes*; this is the actual time taken by 600-ton vessels at the Henrichenburg lift when the traffic is brisk and the working continuous. A reduction in this allowance would seem to be impossible in practice, considering not only the inevitable limitation of the dimensions of the space occupied by the water in the tank (Figs. 8*a* to *d*) and the resistance due to high speed, but principally on account of the necessarily great precaution which has to be taken that the incoming vessel should not strike against the gates closing the end of the tank and damage them (Figs. 2, 3, 4, 5), which would disable the whole structure.

In the case of a lock, on the other hand, we may assume *3 minutes* for the same operation. This is ample in view of the comparatively large area of the wet section, which may be used (Figs. 7*a*, *b*), and in view also of the solidity of the parts of construction, which are better able to withstand a blow from a boat.

The net length of the lockpit is the same, as before, namely, 67 m., but the width is 9 m. and the depth of the water 3 m. or even more.

The vessel advances a distance of 100 m. in both cases, when entering or leaving the tank of the lift or the lockpit.

To swing round the vessel to bring it in a line with the centre line of the tank or lock (Figs. 1 to 5) we reckon will take *1 minute* in every case. This cannot be avoided, especially when vessels have to pass each other.

We have not shown in our sketches any unnecessarily prolonged lengths which may be given to the approaches of the structures, nor any walled passages, which may have been kept too narrow for bridges crossing the canal and may impair the working capacity of a lock.

On the following pages we propose to give the results of our analytical investigations of the question of the *theoretical working capacities of different kinds of boat-lifting appliances*. The maximum effective working capacity may under the most favourable conditions amount to *about 75 % of the theoretical value* in the case of a canal with brisk and continuous traffic, if allowance is made for the various minor hindrances which always take place in actual working.

A. — Ordinary Locks.

We will assume that all sluices, gates and capstans are worked by electricity. The necessary current is generated on the spot by water power, a small turbine being provided for that purpose. The gates and sluices are worked from a fixed point.

The upper cill is placed as low as possible (we assume it to be at 4.50 m.) below the level of the upper pool, so that the filling of the lock-pit may be effected as calmly and as rapidly, as possible ; the entry and exit of the boat should be easy ; and the current and the fluctuations in the water levels of the adjoining reaches, which are suitably enlarged at the lock-approaches, should be reduced to a minimum without any injurious effect.

Lock with 10 m. fall with two saving ponds.

(Fig. 1. and Figs. 7a, b.)

1. Time spent by the boat in passing through the lock :

1. Entry of boat from the lower pool in to the lock	3'00"
2. Closing lower gates	0'30"
3. Filling lock-pit (1). 4'00"	} 6'00"
Delay on account of making use of the	
two saving ponds (2) 1' + 1' = . . . 2'00"	
4. Opening upper gates	0'30"
5. Exit of boat	3'00"
Total time.	13'00"

during which time the boat advances $100 + 100 = 200$ m.

(1) 3,100 cub. m. are taken from the upper pool, and 3,000 cub. m. from the saving ponds, the mean rate being 25.5 cub. m/sec. ; this is the actual rate in the case of the well managed locks of the canalised Moldau. LAURELL reckons to fill the Trollhätta locks at the rate of 44 cub. m/sec.

(2) In conformity with direct observations made in the case of the locks with saving ponds of the canal from Charleroi to Brussels. (Report of E. LEFEBVRE, Düsseldorf 1902). The designer can regulate at will the time of filling and emptying the lock-pit by a suitable system and by an adjustment of the dimensions of the sluices and saving ponds, and of the area of the inlets.

Thus 6 minutes are required for lifting the boat and 7 minutes for all the other operations.

II. *Interval between two boats following each other.*

The operations mentioned under items 1 to 5 for the		
passage of the first boat last	13' 00"	
6. Closing upper gates	0' 30"	
7. Emptying lock-pit and filling the two saving		
ponds as before	6' 00"	
8. Opening lower gates	0' 30"	7' 00"
		<hr/>
Total time		20' 00"

It is only now, that the lock is ready for the 2-nd boat. The interval between two boats is, therefore, 20 minutes which corresponds, at the rate of 4 kilometers an hour, to a distance of 1,333 meters.

III. *Two boats crossing at the lock.*

Locking through the first boat took		13' 00"
6. Swinging round and bringing into line the		
2-nd boat in the side portion of the upper		
reach	1' 00"	
7. Entry of this boat into lock-pit	3' 00"	
8. Closing upper gates	0' 30"	
9. Emptying lock-pit, &c. (4' + 2')	6' 00"	
10. Opening of lower gates	0' 30"	
11. Exit of 2-nd boat	3' 00"	
		<hr/>
		14' 00"
12. Swinging into line the 3-rd boat	1' 00"	
		<hr/>
Total time		28' 00"

This is the total time taken up by two boats crossing each other. The lifting or lowering of the boat takes . . . 12' 00"
all other manipulations 16' 00"

Every boat has to wait at the lock $13' + 1' = 14'$ minutes before it can cross another going in the opposite direction.

The subjoined Table shows the influence which the fall of a lock may have upon its working capacity. The lock with a 5-

meter fall is an ordinary lock, the others are locks with side pits provided with the requisite number of saving ponds so that the quantity of locking water taken from the upper reach should be the same in every case, namely 3,100 cub. m. The balance has to be supplied from saving ponds. The delays caused by the latter are reckoned at the rate of 1 minute per saving pond.

The Table shows also the working capacities of double locks, that is, two locks placed side by side, one of which acts alternately as a saving pond for locking water, by which means a saving of about 40 % (theoretically 43.75 %) can be effected in water. The analysis was made in the same way as for a hydraulic lift. Allowance was made for the delays caused by the filling of the lock-pits at the rate of one minute as in the case of saving ponds. Two minutes will have to be added to the time occupied in locking in the case of double locks for the same reason as explained in the case of the vertical lift with movable tank.

Amount of fall m.	Number of saving ponds	Time required for passing a boat through the lock			Interval when boats		Double locks with 43 o/o of water saved		
		for raising or lowering	for other mani- pulations	Total	follow each other	cross	Timespent by boat in lock	Interval when boats	
								follow each other	cross
5	—	2'	7'	9'	12'	20'	10'	7'	11'
10	2	6'		13'	20'	28'	12'	9'	13'
15	4	10'		17'	28'	36'	—	—	—
20	6	14'		21'	36'	44'	—	—	—

Eventual fluctuations in the water level of the adjoining reaches have scarcely any influence upon the time required for locking.

B. — Vertical Lifts.

A. — *Floating lift with a single tank* after the type of that at Henrichenburg. — According to official information received, at Henrichenburg boats are lifted 14 m. high in 2 1/2 minutes. The time required for a double locking, that is for the necessary operations to raise a boat and lower another, including the time

lost in entering and leaving the tank, is 25 minutes, except unforeseen delays. Only 18 minutes are, however, required when the boats are warped in and out of the tank by means of capstans.

Floating lift with 20 m. fall (Fig. 2).

I. *The time spent by a boat in passing up the lift may be computed as follows : —*

1. Entry of boat into tank	4' 00''
2. Closing gates, emptying gap, undoing watertight wedge	1' 30''
3. Raising, or lowering, tank	3' 00''
4. Inserting watertight wedge, filling gap, opening gates	1' 30''
5. Exit of boat	4' 00''
<hr/>	
Total time	14' 00''

II. *Interval between two boats following each other, as in the case of the lock*

$$14' 00'' + 1' 30'' + 3' 00'' + 1' 30'' = 20 \text{ minutes.}$$

III. *Two boats crossing at the lift, as in the case of the lock, making allowance for swinging into the centre line the boats placed side by side :*

$$14' 00'' + 1' 00'' + 4' 00'' + 1' 30'' + 3' 00'' + 1' 30'' + 4' 00'' + 1' 00'' = 30 \text{ minutes.}$$

B. — *Hydraulic lift with two tanks, one going up while the other goes down, like the new type of lifts on the canal du Centre in Belgium.*

According to the report of M. Genard, the time required for lifting a boat, counted from the moment when a boat arrives at a point 30 meters distant from the structure in the upper or lower pool, as the case may be, to the moment when after having been raised or lowered, the boat reaches a point, also 30 meters distant from the work, on the opposite side of the lift, is 15 minutes in the case of the La Louvière lift, the rise of which is 15.397 m.; this includes 2' 15'' for the ascent and descent respectively of the tanks. The latter are of the following

net dimensions : length 43.00 m., width 5.80 m., depth of water 2.40 m. ; they can accommodate vessels up to 360 tons.

Hydraulic Lift with 20 m. rise (Fig. 3) for vessels of 600 tons. It may be assumed that the various manipulations in this case will take the same time as in the case of a floating lift, namely :

I. *Time spent by a boat in going up the lift.*

1. Entry of boat into tank	4' 00"
2. Lowering gates, emptying gap, undoing watertight wedge	1' 30"
3. Ascent of one tank and simultaneous descent of the other	3' 00"
4. Making fast, inserting watertight wedge, filling gap, opening gates and bolting them, setting stopping signals for boats	1' 30"
5. Exit of boat	4' 00"
<hr/>	
Total time	14' 0"

II. *The interval between two boats following each other* is 14' 00" — 4' 00" or 10 minutes only, because while the first boat is leaving one tank, the second boat can enter the other as it is empty.

III. *Time required for two boats to cross.* Assuming that they enter and leave simultaneously, and that the raising and shutting of the gates and all other manipulations are carried out at exactly the same moment for both tanks, and making also allowance for bringing the second boat into line with the tank, as probably she had to be hauled aside beforehand, the time required will be 14' 00" + 1' 00" = 15 minutes.

These manipulations, however, cannot be carried out with such exactitude except in very exceptional cases, when all the necessary preparations have been made for a trial ; it will, therefore, be necessary to add in practice 2 minutes to our estimate.

No allowance has been made either in this instance, or in the case of the floating lift, for delays which may take place in the various manipulations owing to the *fluctuations of the water line* in the adjoining reaches. The wind, for instance, may raise the surface of the water in the upper pool by 25 cm. and lower it by that amount in the lower pool. There may be, therefore, a difference of 50 cm. in the height of the fall. The

adjustment of the water level between tank and reach requires considerable time, and may, therefore, further reduce the theoretical values of the working capacities.

The subjoined Table shows for the two kinds of lifts in question, the influence which different falls have upon the effective working capacity with normal water levels in both reaches. It will be seen, that owing to the speed at which differences in levels can be surmounted, the working capacity remains more or less constant for falls of from 10 to 25 meters.

DIFFERENCE IN CANAL LEVELS	FLOATING LIFT WITH SINGLE TANK				HYDRAULIC LIFT WITH TWO TANKS			
	Time required for		Interval between boats		Time required for		Interval between boats	
	raising or lowering tank	boat going up or down the lift	following each other	crossing	raising or lowering tank	boat going up or down the lift	following each other	crossing
10 m	2'00"	13'00"	18'00"	28'00"	2'00"	13'00"	9'00"	14'00"
15 m	2'30"	13'30"	19'00"	29'00"	2'30"	13'30"	9'30"	14'30"
20 m	3'00"	14'00"	20'00"	30'00"	3'00"	14'00"	10'00"	15'00"
25 m	3'30"	14'30"	21'00"	31'00"	3'30"	14'30"	10'30"	15'30"

C. — Railways (or inclined planes) for transporting vessels.

A few canal inclines have been constructed hitherto, but for boats of small tonnage only, of which it will suffice to mention the transverse incline with double track built at Foxton in England, by Mr. Gordon C. Thomas, which has a gradient of 1 in 4 and has been at work since 1901. The difference in levels to be surmounted amounts to 22.91 m. Each tank has a length of 24.38 m., a width of 4.57 m., and the water in it is 1.37 m. deep; the largest boat they will accommodate is one of 70 tons. According to the report of Mr. Thomas, the partial transport of boats can be effected at intervals of *15 minutes* when boats cross each other at the incline. This entirely agrees with the results of our investigations, if we make due allowance for the shorter length of the boats and the track, and for the smaller size of the gates and tanks which have to be moved in this case. In order to enable the boats to cross each other more easily and more quickly, it would have been advisable to widen both the upper and lower canal ends as indicated in dotted lines in the Figure.

In the following estimates of the working capacity of canal

inclines of different types capable of lifting 600-ton vessels to a certain minimum height, we have *not included longitudinal inclines with single tanks, nor inclines with dry upper chambers*, however economical and advantageous these types may be under certain circumstances, because their working capacities are greatly exceeded by those of inclines with two tanks when the canal is one of large dimensions and the traffic is brisk, although these types may be more costly.

a) LONGITUDINAL INCLINE WITH DOUBLE TRACK, 1 IN 25 GRADIENT AND 40 METER FALL. — If we consider the advantages, which the various schemes submitted on the occasion of the international competition in 1904 presented, namely that which was considered the best and some others which deserved notice on account of some details of merit, and if we pay no attention to the means of conveyance (be this by means of a series of wheels, rollers or sledges on slides), or to the manner in which the tanks are supported and balanced, or to the gates and other details of construction, however much ingenuity they may have displayed, and if we unite into one perfect scheme, which will stand criticism, and is feasible as regards construction, all the best features of the different proposals ; if, besides, we leave out of consideration the necessary motive power and the cost of the structure, we shall arrive at the following results as regards the working capacity of an incline of this kind, sketched in Fig. 4 and on which the tanks are conveyed dry : —

I. *Time spent by a boat in passing over an incline :*

1. Entry of boat as at Henrichenburg	4' 00"
2. Closing both sets of gates, emptying gap, undoing or inserting watertight wedges, at the upper and lower tanks, fixing boat in tank	1' 30"
3. Starting and stopping (1) (1' + 1')	2' 00"
The actual trip will occupy with a speed of 0.50 m. along a distance of $40 \times 25 = 1,000$ metres $\therefore 1,000 \div$ $0.50 = 2,000 \div 60 =$	
	33' 20"
4. Fixing tanks in position at canal gates, inserting wa- tertight wedge, filling gap between tank and canal gates, raising gates, at upper and lower tanks and both at the same time	1' 30"
5. Exit of boat	4' 00"
<hr/>	
Total time	46' 20"

(1) In order not to produce violent undulations of the water in the tanks and that these may be stopped opposite the canal heads without danger.

Of the total time thus occupied 35' 20" are required for raising and lowering the tanks and 11' 00" for all other operations. We may remark here, that *in the case of boats being transported dry*, some additional time would be required for emptying the tanks before starting from one reach and for refilling them after their arrival at the other reach, to allow the boat to float out of the tank. We estimate that each operation will take 3 minutes ; hence the time spent by a boat in passing over an incline will really amount in this case to 6 minutes more or 52' 20" altogether.

But in the meantime the boat will have advanced a distance of $100 + 1,000 + 100$ or 1,200 meters.

II. *Interval between two boats following each other* ; assuming that while the first boat is leaving, the second is entering, this interval will be 46' 20" — 4' 00" or 42' 20".

III. *Two boats crossing each other* ; making the same assumptions as in the case of the hydraulic lift, but adding $2 \times 2 = 4$ minutes on account of the great distance of 1,000 meters at which the simultaneous operations with respect of movement of boats, moving gates, &c., have to be carried out, the estimated total time will be $46' 20" + 1' 00" = 47' 20"$.

b) TRANSVERSE INCLINE WITH 1 IN 4 GRADIENT AND 40 METER FALL AND A MEAN SPEED OF 0.5 M. ALONG THE TRACK.

α) WITH ONE TANK.

I. *Time spent by boat in passing over incline* ; making the same assumptions as for the items in N° I under letter C and assuming that the boat is conveyed afloat, the amount will be :

$$4'00'' + 1'30'' + 1' + 1' + \left(\frac{4 \times 40}{0.5} = 5'20'' \right) + 1'30'' + 4'00'' \\ = 18'20''$$

of which 7' 20" are spent on the trip along the incline and 11' 00" in accessory operations.

II. *Interval between two boats following each other* : —

$$18'20'' + 1'30'' + 2' + 5'20'' + 1'30'' = 28'40''$$

III. *The crossing of two boats takes : —*

$$18'20'' + 1' + 4'00'' + 1'30'' + 2' + 5'20'' + 1'30'' + 4'00'' + 1' \\ = 38'40''$$

β) WITH TWO TANKS.

The loss of time may be estimated in a similar way as under .

I. $4'00'' + 1'30'' + 1' + 5'20'' + 1' + 1'30'' + 4'00'' = 18'20''$
II. $18'20'' - 4'00'' = 14'20''$
III. $18'20'' + 1'00'' = 19'20''$

The subjoined Table shows the results for falls of from 10 to 100 meters with a mean tank speed of 0.50 m. as well as with a mean tank speed of 1.00 meter in the case of a longitudinal incline of 1 in 25. In the latter case, however, the time allowance for starting and stopping has been doubled and, therefore, amounts to 2' + 2' = 4 minutes.

We have, besides, investigated the case of a longitudinal incline of 1 in 10, among various other possible schemes, but with such a steep gradient the down-hill ends of the cradles carrying the tanks and the dry pits to be provided at the bottom of the incline to accommodate them would assume very large proportions.

Table showing working capacities of various inclines.

DIFFERENCE IN LEVEL	LONGITUDINAL INCLINE WITH TWO TANKS						TRANSVERSE INCLINE 1 IN 4			
	Gradient 1 in 25				1 in 10		for $v = 0,5$ m.			
	for $v = 0,5$ m.		for $v = 1,0$ m.		for $v = 0,5$ m.		with one tank		with two tanks	
	boats follow each other	boats cross each other	boats follow	boats cross	boats follow	boats cross	boats follow	boats cross	boats follow	boats cross
10 m.	17'20"	22'20"	15'10"	20'10"	12'20"	17'20"	20'40"	30'40"	10'20"	15'20"
20 m.	25'40"	30'40"	19'20"	24'20"	15'40"	20'40"	23'20"	33'20"	11'40"	16'40"
30 m.	34'00"	39'00"	23'30"	28'30"	19'00"	24'00"	26'00"	36'00"	13'00"	18'00"
40 m.	42'20"	47'20"	27'40"	32'40"	22'20"	27'20"	28'40"	38'40"	14'20"	19'20"
60 m.	59'00"	64'00"	36'00"	41'00"	29'00"	34'00"	34'00"	44'00"	17'00"	22'00"
100 m.	92'20"	97'20"	52'40"	57'40"	42'20"	47'20"	44'40"	54'40"	22'20"	27'20"

As shown by the Table, the results are especially favourable in the case of a transverse incline with two tanks ; but, as the same difficulty would be experienced in this case in carrying out all manipulations simultaneously with both tanks as before, an extra delay of $2' + 2' = 4 \text{ minutes}$ has been allowed for.

In the case of fluctuations in the water levels, further allowances would have to be made for the time lost in adjusting the levels.

D. — Revolving lifts.

A lift of this kind has not yet been carried out, but designs have been prepared for them and one design especially, which secured the 2-nd prize at the international competition in 1904 and bore the motto « Habsburg », was worked out in all its details.

We will assume that lifts of this type can be made to work successfully even in the case of great fluctuations in the water levels of the adjoining reaches and that the troubles arising from an unequal expansion caused by some parts of the structure being exposed to higher temperatures than others, can be successfully overcome, as well as those due to wind, &c. ; points in respect of which the authors of the design which secured the prize, are about to propose improvements. We will assume, further, that the rotatory motion of such enormous masses can be regulated at will, and that all the other manipulations as regards the entry and exit of the boats, the handling of the gates, &c., can be effected in a manner similar to that with other kinds of appliances for raising boats. With these assumptions the corresponding lengths of time occupied by boats in passing from one pool to the other by means of *a revolving lift for two boats and with a 40 m. fall* (Fig. 5), &c., may be computed as follows :

- I. $4'00'' + 1'30'' + \text{turning} (1' + 6' + 1') + 1'30'' + 4'00'' = 19'00''$.
- II. $19' - 4' = \dots\dots\dots 15'00''$.
- III. $19' + 1' = \dots\dots\dots 20'00''$.

In this case, too, an extra allowance of at least 2 minutes will have to be made in view of the fact, that we have assumed that the various operations at both tanks were to be carried out simultaneously. The authors of the design, which secured the prize, have made liberal allowances in this respect by adding

to the amounts arrived at by calculation 6' 12" and 6' 30", respectively, according to the exigencies of the case, and rounding off their figures.

The working capacities of other kinds of appliances for lifting boats could be estimated in a similar way by assuming that such structures could be successfully built and would work satisfactorily. This holds good especially in the case of sundry new designs for locks with saving ponds, although the various proposals of this kind which were submitted on the occasion of the international competition for a scheme of raising and lowering boats at Anjezd, appeared to be too costly and too complicated, *because the authors of some of these designs assumed an absolute want of locking water, although this is a contingency which will never occur on the Danube and Oder canal*; and moreover, §. 1 of the conditions of competition distinctly specified that an *economical* working of the canal traffic should be guaranteed by the proposers of schemes, with the least possible expenditure, but certainly not with no expenditure whatever of water.

The various types of appliances for lifting boats, which we have investigated in sections A to D, and some of which have already been carried out of the sizes assumed herein, and others it would be quite feasible from an engineering point of view to construct, although only at a corresponding higher cost — a point which does not concern us now — present the following features if we compare them with each other in respect of their working capacities.

a) *For lifting or lowering a single boat.*

1. *For small falls the ordinary lock without saving ponds is the appliance, which has the greatest working capacity.* The rates at which it was estimated it could be filled and emptied, the gates opened and closed, and the different gears handled, are confirmed by data derived from experience gained with existing structures, which have given entire satisfaction in every respect. This working capacity, however, diminishes with very high falls, *because it is necessary to avoid the possibility of producing too swift currents in the adjoining canal reaches during locking.* An increase in the cross section of the canal would mitigate but not cure this evil.

2. *Locks with saving ponds* save locking water and they also reduce the force of the current in the canal reaches ; but by multiplying the number of saving ponds, the lock becomes more complicated, its working capacity is reduced and objections arise from an engineering as well as from a traffic-working point of view, if it is a question of adopting them at a *specified point* of a principal canal with heavy traffic, for surmounting high falls exceeding 15 meters. Nevertheless for falls up to about 15 meters they constitute an advantageous method of raising boats both in respect of working capacity and satisfactory working.

3. *Floating lifts* are distinguished by their high working capacity, which is barely affected by an increase in the rise which has to be surmounted. At low falls, however, the unfavourable influence of the working of the gates and of the great precaution which has to be taken when boats enter or leave the tank, begins to make itself felt. To surmount with their help at a given point very high falls, say any exceeding 25 meters, becomes impracticable in consequence of difficulties in construction.

4. Of *inclines for transporting boats by rail* only *transverse inclines with gradients as steep as possible* need be considered, when there is an absolute want of water and the traffic is heavy, although for differences in levels of hardly 10 m. — heights which preclude the adoption of inclines on account of their great cost of construction — their working capacity is not very satisfactory, because even with high tank velocities much time is lost, as the various manipulations cannot be carried out more expeditiously.

b) *For lifting one boat and lowering another at the same time.*

1. *Double locks*, with average falls of say up to about 12 m., are able to cope with a heavy traffic on an inland canal, if they are properly managed and water is abundant.

2. *Hydraulic lifts* have answered well in practice with boats up to 360 tons, and are particularly useful when water is scarce and the canal traffic very heavy, if the difference in level to be surmounted does not exceed say 25 meters.

3. Where the difference in level exceeds 30 m. and the whole fall has to be surmounted *in cumulo*, *steep transverse inclines*

with two tanks, and *revolving lifts*, too, will be found useful on account of their high working capacities. The former have already been tried in practice, although only on a modest scale ; the latter kind have not yet been tried, but their construction seems to be quite feasible.

4. *Longitudinal inclines with two tanks* may be adopted, when there is an absolute want of water, the traffic is not too brisk, the difference in level is about medium and the slopes of the water-shed, which has to be crossed, are not very steep. Their use, however, seems to be limited to falls between 30 and 60 meters for the following reasons. There are technical difficulties in making them steeper than 1 in 10 for boats of heavy burthen ; further, both their first cost and working expenses would be too high for falls under 20 meters and with very high falls their efficiency would be too low, because even with a high tank speed the various manipulations would take up considerable time, to say nothing about the large motive power which would have to be provided for a high speed.

The subjoined Table shows the theoretical *working capacities* of the various locks, lifts and inclines, hitherto dealt with, for various falls and also their probable effective capacities in actual working.

It has been assumed that the traffic is heavy and the estimates were based on the most unfavourable case to be met with in working, namely, when four boats meet at the lock or lift or incline and three of them are travelling in the same and one boat in the opposite direction. It was further assumed, that instead of their full burthen of 600 tons, the boats only carried an average cargo of 375 tons, and that the work was carried on for 15 hours daily on 250 days in the year.

TYPE OF LOCK, LIFT OR INCLINE (1)	Time spent by boat in changing level	Interval between two boats following each other	Time required for two boats to cross each other	ESTIMATED WORKING CAPACITY			Probable effective capacity in tons per annum
				NUMBER OF BOATS		TONS	
				per day	per year		
A) <i>One chamber or tank :</i>							
1. Lock with 5 m. fall . .	9'	12'	20'	82	20.500	7,687,500	5,766,000
2. Lock with 10 m. fall with saving ponds. . .	13'	20'	28'	53	13.250	4,968.750	3,627,000
3. Floating lift with 20 m. rise.	14'	20'	30'	51	12.750	4,781,250	3,586,000
4. Transverse incline with 1 : 4 gradient, 40 m. fall and $v = 0.50$ m. . . .	18'20"	28'40"	38'40"	37	9.250	3,468.750	2,602,000
B) <i>Two chambers or tanks (2)</i>							
5. Double lock with 5 m. fall	10'	7'	11'	144	36.000	13,500.000	10,125,000
6. Double lock with 10 m. fall	12'	9'	13'	116	29.000	10,875.000	8,156,000
7. Hydraulic lift with 20 m. rise.	14'	10'	15'	103	25.750	9,656,250	7,242,000
8. Transverse incline 1 : 4, 40 m. fall, $v = 0.50$ m. .	18'20"	14'20"	19'20"	75	18.750	7,031.250	5,273,000
9. Longitudinal incline, 1 : 25, 40 m. fall, $v =$ 0.50 m.	46'20"	42'20"	47'20"	27	6.750	2,531.250	1,898,000
10. Longitudinal incline, 1 : 25, 40 m. fall, $v =$ 1 m.	31'40"	27'40"	32'40"	41	10.250	3,843,750	2,883,000
(Longitudinal incline, 1 : 25 40 m. fall, $v = 3$ m.) (3).	(21')	(17')	(22')	(64)	(16.000)	(6,000.000)	(4,500.000)
11. Revolving lift with 40 m. rise.	19'	15'	20'	72	18.000	6,750,000	5,062,000

(1) Boats are supposed to be conveyed *afloat* in the tank in every case which method requires less time.

(2) No allowance has been made for any delay caused by boats not entering or leaving the chambers or tanks at exactly the same moment.

Nor has any allowance been made for the time lost in adjusting the water level between canal reach and tank, when the former differs from the normal.

(3) The speed being excessive, it is unlikely that it will ever be attempted in practice.

The next step will be to show by a particularly instructive example, namely the proposed

Danube and Oder Canal

how much the question of locks, lifts and inclines may affect the selection of the route for a canal (Figs. 10*a* to *e*).

The purpose for which this canal is to be made will be to connect the Danube at Vienna, at 160 m. above datum line, with the Oder at Mährisch-Ostrau at 200 m. above same datum. The length varies between 265 and 275.5 km. in the various schemes, and the level of the summit-reach between 284.1 and 260.0 m. above datum; hence the total height to be surmounted varies between 200.7 and 152.5 m., if, provisionally, we consider the port of M.-Ostrau as one of the termini of the canal, which is situated at a level of 207.5 above datum.

Fig. 10*a* shows a *scheme with locks*, which was proposed in 1873. The height of the lost fall, the great number of locks (84) and the very short reaches (in many cases only 500 m. long) between locks, evidently militated against the scheme being carried out, which was consequently abandoned. We do not propose to say anything more about it.

Another *scheme* proposed in 1894 (1), and shown in Fig. 10*b*, consisted entirely of inclines, the object aimed at being to make the reaches as long as possible for trains of boats. This scheme, however, could not be carried out, because it was found afterwards that the selected method of lifting boats was not feasible.

The scheme included, like all the others, an entrance lock, which was found necessary at the commencement of the canal in order to allow boats to pass from the Danube with changeable water level to the canal with almost constant water level and *vice versa*.

Fig. 10*c* represents a recent scheme which comprised a series of *locks* each with 5 m. fall; Fig. 10*d* shows a *combination of locks and inclines* and Fig. 10*e* a scheme with *locks*, with about 10 m. fall *with saving ponds*. The dotted lines represent an alternative route with a summit level as low as 260 m. above datum, but this would involve the construction of a tunnel 3,050 m. long at the summit and a deep cutting on the side towards the Oder.

(1) The figures in brackets refer to an old scheme, those without brackets to some improvements introduced recently.

To our knowledge, no scheme has as yet been prepared with vertical lifts for this canal.

The summit-reach is to have a length of 26 km. in one scheme and one of 75.75 km. in another ; and one of even 6 kilometers only in a third alternative. To provide the requisite quantity of water, the drainage area of the river Becva is to be utilised, the extent of which is 972 sq. km. If required, other drainage areas could be included, without any necessity for pumping, not even if the summit level were fixed at 284.1 above datum. There are many valleys in this region, in which from 4 to 13 million cub. m. of water could be impounded by dams and stored to be used for feeding the summit level, when owing to long droughts, the water for the canal could not be taken direct from the river. Even a portion of the available drainage area would completely suffice to make good the constant waterlosses, which are wholly independent of the types of locks, &c., to be selected, not only in the summit reach, but also for a considerable length of the canal, and at the same time to supply the necessary *locking water*, if required. With a traffic of 4 million tons per annum, locks with 10 m. fall each with saving ponds, or simple locks with 5 m. fall — assuming that one quarter of the lockings were double-lockings and that the boats carried a mean cargo of say about 375 tons — would require *50 million cub. m. of water in round figures for locking* ; the provision of this quantity would entail an expenditure of from 20 to 30 million Austrian crowns (£ 833,333 to £ 1,250,000) on extra works, which sum would have to be added to the cost of a canal with locks. The fact should, however, not be forgotten, that the whole population of Moravia, who live in plains, which are unfortunately too often visited by floods, would be glad to see as many valleys closed by dams, as possible, so as to be protected against damages from floods and at the same time to escape the inconveniences of abnormally low water-levels in the rivers. The money spent in impounding the water would, therefore, confer an immense benefit, which cannot very well be expressed in figures, upon agriculture and would at the same time cheapen the maintenance of the banks of rivers and their tributaries. A vast amount of hydraulic power would, besides, be stored up, the value of which would also have to be credited to the account of the impounding reservoirs.

The author of a canal scheme for connecting the Danube with the Oder has, therefore, a free hand in the choice of his means for overcoming changes in the levels, and will be able to

select such types as will suit best the ground traversed by the canal and at the same time be superior to all other kinds in respect of the safety of the traffic, their working capacity and economy. This choice can be made more easily, more surely nowadays, after the results obtained in the international competition last year, if *the question as to by what means the differences in levels should be surmounted is settled by taking into consideration the whole length of the canal, and by calculating the costs of providing the necessary quantity of water for the canal, not on the assumption that the water would have to be raised from the lower to the upper pools, but that it would have to be provided, as usual, at the level of the summit reach, and thence be distributed cost-free by gravitation down both sides of the summit from reach to reach.*

It is seldom possible to prepare for a point selected beforehand along a canal any schemes with various types of locks, lifts or inclines in a rational manner, which could serve any useful purpose when compared in respect of the results that may be attained by them, with a view of selecting the most suitable type and then extend their application to the whole length of the canal. Thus the Figs. 10*a* to *d* show that for the given longitudinal section the only solution, which does not involve any heavy earthworks, is a longitudinal incline with 1 in 25 gradient, although it would be difficult to find such an alignment for the Danube and Oder Canal, except by diverting the centre line from existing industrial centres. But the configuration of the slope of the ground, considered in reference to its whole length, is not suitable for the adoption of this kind of installation for raising boats; the trial section made for this purpose and shown in Fig. 10*d* proves, on comparison with Fig. 10*b* and if studied in respect of details, that in respect of the lower portions such is the case.

On the Danube and Oder Canal a particularly brisk and heavy traffic is expected; it is estimated that there will be at least 4 million tons per annum. Our investigations show in a sufficiently clear manner, which are the kinds of appliances, that would be able to deal with absolute certainty with such a large volume of traffic.

What is, with respect to the future prosperity of the Danube and Oder Canal, the importance which is to be ascribed to the system of boat-lifting appliances and to the number of these structures, as they appear in the various schemes?

The *local traffic* is scarcely affected by the greater or less number of changes in the level. All that is required is that the boatman should not lose too much time while waiting for his boat to get through the lock, and that the route of the canal should not be located along distant and abrupt hills. Locks, &c., with average falls will answer best in this case.

The *long-distance traffic*, on the other hand, requires that *the number of changes in the levels should be reduced as much, and the canal reaches be made as long, as possible*. To cover the distance between Vienna and the port of M.-Ostrau on a canal 270 kilometers long and at a speed of 4 kilometers per hour, a boat will take 67 1/2 hours plus all the delays at the changes in the levels. In the most unfavourable case, namely when boats cross, the time thus lost can be calculated as under, in accordance with the investigations previously given, but making allowance for the distance covered by the boat on its way through the lock, lift, or over the incline : —

According to Fig. 10c for 40 locks of 5 m. fall : —

$$40 \times (9' + 1') - 40 \times 200^m \times \frac{60}{4000} = 280' = 4 \text{ h. } 40'.$$

According to Fig. 10e for 20 locks of 10 m. fall *with saving ponds and pits*. —

$$20 \times (13' + 1') - 20 \times 200^m \times \frac{60}{4000} = 220' = 3 \text{ h. } 40'.$$

According to Fig. 10b for one lock and *seven longitudinal double-track inclines* with 1 in 25 gradient and a tank-velocity of 1 m. (instead of 0.50 m.), the total length of each incline being $(283.5 - 160.0 + 283.5 - 212.1) \times 25 = 194.9 \times 25 = 4872.5 \text{ m.}$, the loss of time will amount to : —

$$7 \times (4' + 1.5' + 2' + 2' + 1.5' + 4' + 1') + (9' + 1') \\ - (7 \times 4872.5 + 200) \times \frac{60}{4000} = 28'.$$

The whole trip will, therefore, take 72 h. 10', 71 h. 10' and 67 h. 58' respectively. This last figure, therefore, argues in favour of longitudinal inclines with accelerated speed. But in

any case the boat would only be able to save this difference of 3 or 4 hours, if she had not to wait at the inclines before proceeding on her voyage.

The influence, which appliances for lifting boats and the greater and shorter lengths of reaches, resulting therefrom, may have upon the formation of trains of boats.

The subjoined Table shows the results arrived at on this question. The figures are derived from our investigations as hereinbefore given for different numbers of boats. The tug-boat has not been taken into account in any case, because it is assumed that the towing is to be done by an electric locomotive running along the towing path. An allowance of 2' per boat forming part of the train has been made to cover the time lost in re-marshalling the boats at each change of level.

Number of boats . . .	Interval between trains of boats									
	when they follow each other					when they cross				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Lock with 5 m. fall.	12'	28'	42'	56'	70'	20'	44'	66'	88'	110'
» 10 »	20'	44'	66'	88'	110'	28'	60'	90'	110'	150'
Double lock with 5 m. fall	7'	18'	27'	36'	45'	11'	26'	39'	52'	65'
» 10 »	9'	22'	33'	44'	55'	13'	30'	45'	60'	75'
Floating lift with 20 m. rise.	20'	44'	66'	88'	110'	30'	64'	96'	128'	160'
Hydraulic lift with 20 m. rise	10'	24'	36'	48'	60'	15'	34'	51'	68'	85'
Double-track longitudinal incline with 40 m. rise :										
a) for $v = 0.5$ m/sec.	42'20"	89'	133'	177'	222'	47'20"	99'	148'	197'	247'
b) for $v = 1.0$ m/sec.	27'40"	59'	89'	119'	148'	32'40"	69'	104'	139'	173'

This Table shows that *the advantage gained by long reaches is greatly reduced by the delay of individual boats forming part of a train at the changes in levels, and that it becomes absolutely illusory in the case of longitudinal inclines worked with a tank-velocity of 0.5 m/sec. Thus, in the latter case a train consisting of 5 boats crossing another such train at each change of*

levels would require for the trip from Vienna to M.-Ostrau by the route shown in Fig. 10*b* : 67 h. 30' + 23 h. 05' = 90 h. 35' ; whereas single boats would take by the route shown in Fig. 10*e* not more than 67 h. 30' + 3 h. 40' or 70 h. 10'. A boat arrived at the Anjezd lift, at 204.1 m. above datum, would reach the commencement of the summit reach, at a distance of 23.832 kms. in 7 1/2 hours ; with the same speed, a train of boats would arrive into this reach in 14 hours and more ! This being the case, where is the advantage which navigation is supposed to gain by it ? Are the working-expenses and towage rates for trains of boats less than for single boats with a well-organised towing service and shorter canal reaches ?

The costs of construction of all the locks or locks and inclines respectively may be estimated as under : —

For the Scheme in Fig. 10*c* with locks with 5 m. fall the total cost would amount to either for 40 single locks at 450,000 Austrian crowns 18,000,000 c.
or for the same number of double locks at

760,000 c. 30,400,000 c.

For the Scheme in Fig. 10*e* with locks of 10 m. fall, either 20 simple locks with saving ponds at 600,000 c. 12,000,000 c.
or 20 double locks at 900,000 c. 18,000,000 c.

For the alternative Scheme in Fig. 10*b* with 7 double-track longitudinal inclines and a double lock of 5 m. fall at M.-Ostrau, in accordance with data derived from the proposals submitted in last year's international competition : —

7 inclines at an average of only 4 million c. each	28,000,000 c.
1 double lock of 5 m. fall	450,000 c.

Total cost (= about £ 1,185,416) 28,450,000 c.

Although a Scheme like that shown in Fig. 10*d* which comprises locks from Vienna to Prerau, and from M.-Ostrau towards the Oder, and canal inclines between these two portions, would involve the construction of dams of relatively small importance in the basin of the Becva, it would on the other hand necessitate pumping water from the Oder on one side and from the river March on the other for working the locks this side of Prerau and beyond Ostrau respectively. As, however, both these rivers have a very small flow during the low-water season, as proved especially by the experience gained in 1904, no water

could be abstracted from them without doing serious injury to agriculture, industry and the towns and villages situated along their banks. It would, therefore, be inevitably necessary to provide storage reservoirs in the upper portions of the March and Oder basins for feeding these two rivers, in order to have always sufficient water in them to be able to spare a portion of it for the canal. This would be a more roundabout process and the regulation of the supply would also be more difficult, than in the case of reservoirs in the Becva basin the supply from which could be more easily regulated and which, in case of necessity, could be enlarged at a relatively small cost.

The *working expenses* are of still greater importance than the costs of construction, when deciding the question whether locks or inclines are more suitable for the Danube and Oder Canal.

These expenses are about the same for locks with different falls ; it is for this reason that one must endeavour *to reduce their number as much as possible* so long as their working capacity is not reduced below a certain permissible minimum. There is very little difference in the quantity of locking water required for ordinary locks with 5 m. fall or for well-managed locks with saving ponds and 10 m. fall, and even double locks with 10 m. fall with a saving of 43 % per annum only require an extra quantity of water which is but slightly more than that required for an ordinary lock without saving ponds and with only half the fall.

For other kinds of *mechanical appliances for raising boats*, where there is no cheap hydraulic power available for lifting and lowering boats and where, at the site of every work of this kind, and *more especially in the case of inclines it is necessary to provide a large installation of motive power*, the working expenses are several times as high, as those for a corresponding number of locks with saving ponds.

The costs of maintenance and annual payments to sinking fund reach a considerable sum, especially if the canal has been constructed for some time and has not yet been opened for traffic, and if subsequently the traffic does not attain a volume sufficiently large in proportion to the money spent upon the works. The massive locks in masonry, which include very much fewer exposed parts which could be damaged by rust, &c., seem, therefore, to be always more preferable, than mechanical appliances in general, and several special types of boat-lifting appliances in particular.

All the calculations and estimates hitherto made, of which we have only produced a small portion, as well as the question of new legislative measures in the interest of the agriculture of Moravia, induce us to hope that *the Danube and Oder Canal will be one with locks with as few reaches as possible.*

Final conclusions.

1. Locks, lifts and inclines along the same canal must be all of as uniform *working capacity* as possible, if the working of the canal traffic is to proceed smoothly.

2. The question as to by what means boats are to be raised and lowered at changes in the levels of a canal, can only be settled by a comparative study in reference to *the whole length of the canal* and not merely in reference to a single fixed point along its route. It must be approached from three points of view : namely, volume of traffic, method of working and total amount of costs.

3. *Locks* will be able to cope with the expected volume of traffic, and they are and will remain the most advantageous, the most certain, the most effective, the least costly and most economically worked *means of surmounting even a height of certain magnitude* along the route of the canal, inasmuch as the water for feeding the canal could be provided at the summit without considerable expenditure.

4. In case of a deficiency of water *hydraulic lifts* would be means as efficient as locks in respect of working capacity.

Brünn, March 22. 1904.

ANTONIN SMRCEK.

PERMANENT INTERNATIONAL ASSOCIATION
OF
NAVIGATION CONGRESSES

X. CONGRESS - MILAN - 1905

I. Section : Inland Navigation
3. Question

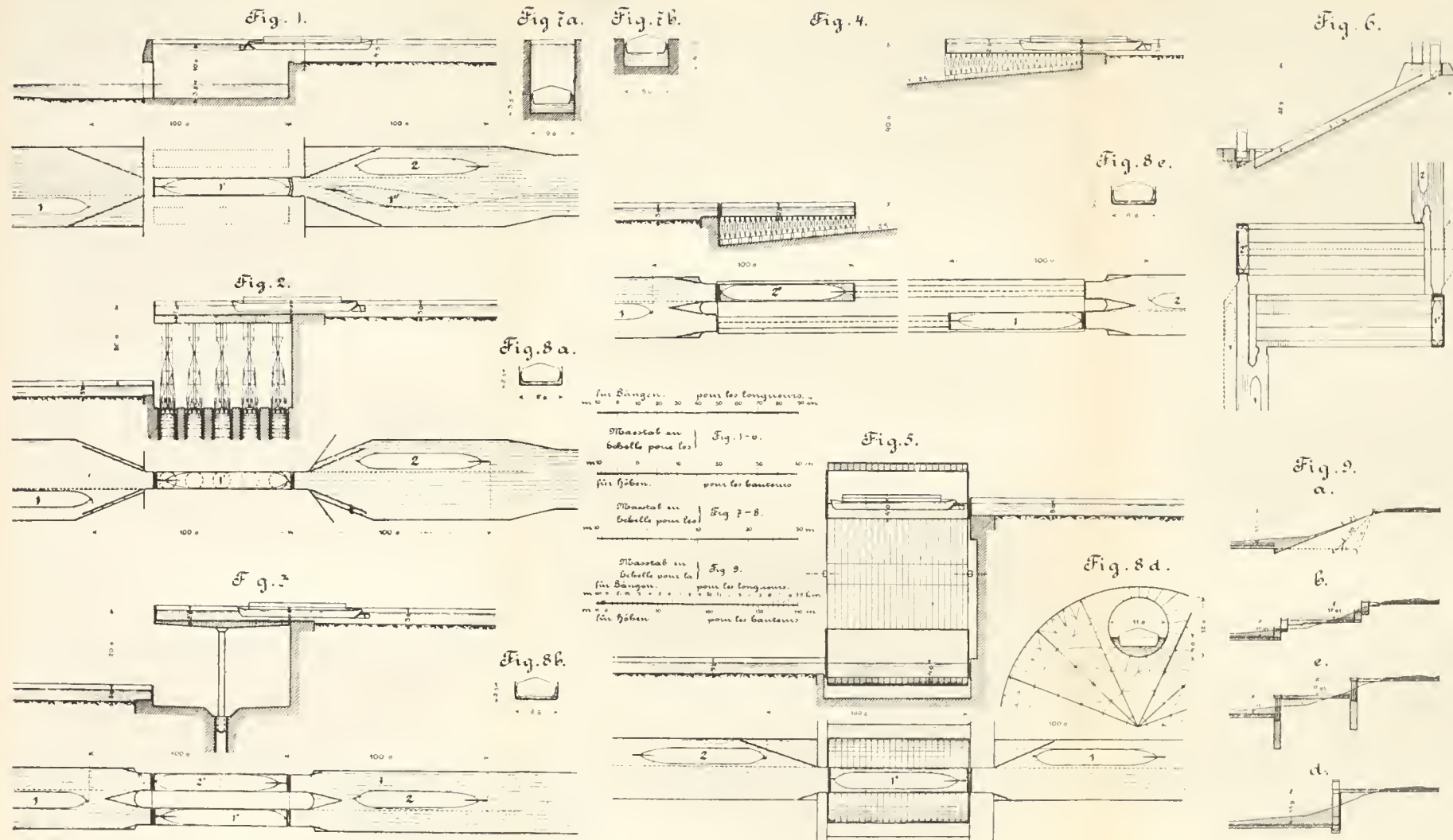
REPORT
BY
A. SMRCEK

PERMANENT INTERNATIONAL ASSOCIATION
OF
NAVIGATION CONGRESSES

X. CONGRESS - MILAN - 1903

I. Section : Inland Navigation
3. Question

REPORT
BY
A. SMRCEK



627.06
INR
1905

ASSOCIATION INTERNATIONALE PERMANENTE
DES
CONGRÈS DE NAVIGATION

X^e CONGRÈS - MILAN - 1905

I. Section : Navigation Intérieure
3. Question

ÉTUDE

DES

Systèmes propres à racheter les grandes chutes
ENTRE LES BIEFS DES CANAUX

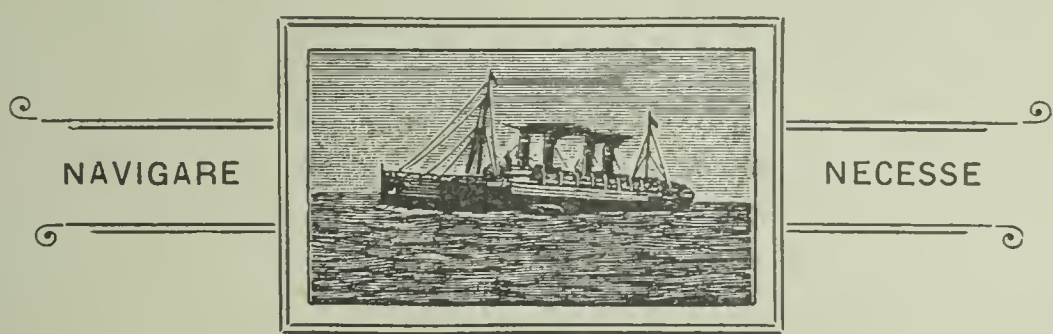
RAPPORT

PAR

M. A. SMRCEK

Ingénieur

Professeur à l'Ecole technique supérieure de Bohême, à Brunn



BRUXELLES
IMPRIMERIE DES TRAVAUX PUBLICS (SOCIÉTÉ ANONYME)
18, Rue des Trois-Têtes, 18

1905

**Comparaison de quelques types d'élévateurs pour bateaux
au point de vue de leur faculté de rendement et de
leur importance en ce qui concerne le canal autrichien
du Danube à l'Oder.**

RAPPORT

PAR

Antonin SMRCEK

Ingénieur

Professeur à l'École technique supérieure de Bohême, à Brünn

Le tracé de voies navigables artificielles d'un grand développement constitue un problème des plus difficile, assumant de grandes responsabilités, mais également un des problèmes les plus intéressants que l'art de l'Ingénieur ait à résoudre.

Il est de toute importance pour l'Ingénieur qui doit fixer les bases du tracé d'un canal, de connaître non seulement la configuration des versants que la voie doit franchir, et les conditions géologiques et météorologiques locales, mais encore d'avoir égard à l'intensité et à la nature du trafic, pour établir s'il y aura *du transit seulement, du trafic local ou les deux simultanément, et quelle sera la répartition de ce mouvement pendant les différents mois de la période de navigation*; il devra, en outre, avoir égard à la possibilité d'une *alimentation en eau économique et aux systèmes propres à vaincre les hauteurs de chute* du canal.

Pour arriver à créer une voie navigable répondant complètement aux exigences économiques, permettant d'appliquer des tarifs de transport pour les marchandises plus réduits que ceux en vigueur pour d'autres voies de communication, et spécialement pour les chemins de fer, et *si ce côté utile ne doit pas seulement profiter aux points situés à l'origine et à l'extrémité du canal, mais encore dans une certaine mesure à toute la contrée qu'il doit traverser*, on doit préalablement entamer des études comparatives approfondies et analyser *plusieurs tracés accompagnés d'évalua-*

tions, afin de pouvoir, en se basant sur les résultats de telles études et ne pas être exposé ultérieurement à des mécomptes désagréables, procéder à l'exécution du projet.

La question relative aux *moyens de vaincre les chutes de niveau* joue un rôle des plus importants dans l'étude du tracé d'un canal, particulièrement lorsqu'on doit atteindre des hauteurs considérables ou franchir des crêtes faitières élevées, comme cela se présente pour divers canaux futurs autrichiens. On s'efforce toujours de placer le bief de partage à une altitude aussi petite que possible en tant que des raisons économiques ne s'y opposent, sans reculer dans des cas tout à fait spéciaux devant l'exécution de tranchées importantes ou de tunnels, si des ouvrages de l'espèce peuvent conduire à une diminution considérable de la hauteur de chute à racheter, et à une meilleure alimentation du canal.

Etant donné qu'on ne peut, pour des voies navigables artificielles, gravir insensiblement les hauteurs par une rampe douce et progressive, comme pour les cours d'eau naturels et comme le font les chemins de fer, il faut nécessairement partager le canal en diverses parties ou biefs situés à des niveaux différents.

Le passage d'un bief à l'autre s'effectue à l'aide d'*élévateurs pour bateaux*. Il y a intérêt au point de vue de la navigation de *limiter le nombre des élévateurs au stricte nécessaire*, sans toutefois porter trop grand préjudice par ces entraves naturelles, mais inévitables au trafic du canal et à sa faculté de rendement, et sans prolonger dans une trop forte proportion la durée du parcours.

Au point de vue économique, les élévateurs ne doivent pas augmenter dans de trop fortes dimensions les frais de construction, d'exploitation et d'entretien du canal ; le tracé même du canal ne doit, par suite du choix du système d'évéléateur auquel on s'est arrêté, pas trop s'écarter des établissements industriels situés le plus souvent dans la vallée, ni des agglomérations et communes existantes, et ne pas être établi comme voie isolée, dans le seul but de racheter une grande hauteur de chute en un point déterminé.

Afin d'éviter des encombrements de bateaux au droit de certains élévateurs, il faut dans le cas d'un trafic intense, avoir soin en premier lieu de s'efforcer de réaliser sur *tout le parcours du canal une capacité de rendement à peu près uniforme pour les divers élévateurs*. Il suffit qu'un ascenseur ait une capacité de rendement moindre que les autres pour entraver d'une façon sensible l'exploitation du canal total, même si l'on pourvoit l'ouvrage en question d'une équipe double de service, et que l'on y procède à une exploi-

tation continue de jour et de nuit, tandis que pour les autres élévateurs le service ne durerait que 15 heures par jour, durée dont il a été tenu compte pour évaluer la capacité de rendement.

Dans les associations de bateliers, on rencontrerait avec raison *très peu d'adhésions en faveur du choix d'un élévateur transportant les bateaux à sec*. Le bateau d'intérieur se construit et doit se construire d'une manière très légère et simple, eu égard au bas prix auquel son acquisition doit être possible, et au grand tonnage avec lequel il doit se concilier pour un tirant d'eau minimum, car il doit non seulement naviguer sur des canaux à mouillage constant suffisamment élevé, mais encore sur des cours d'eau non canalisés, qui présentent souvent une faible profondeur en eau. Le transport à sec aurait pour conséquence de ne pas assurer l'étanchéité des bateaux en charge par suite de la variation de sollicitation des parois latérales, et le chargement non uniforme du fond du bateau provoquerait des fuites après plusieurs transports de l'espèce. Etant donné en outre que ce ne sont pas seulement de nouveaux bateaux, mais également d'anciens et faibles bâtiments qui doivent utiliser le canal, fussent-ils limités par exemple au trafic local, il faut que tout élévateur pour bateau réponde à la demande justifiée des bateliers en faveur du transport à flot de leurs bateaux, si l'on désire ne pas entraver considérablement la navigation intérieure.

Le système d'ascenseur, dont on fait choix, doit se prêter à la configuration du terrain que traverse le tracé du canal et ne pas entraîner des travaux de terrassements ou autres, trop considérables; en outre l'ouvrage ne doit pas avoir à souffrir de gelées qui surviendraient assez brusquement, ni de l'action du vent ou des pluies; il doit être à même de fonctionner d'une manière parfaite aussi longtemps que le trafic peut se poursuivre sur le parcours courant du canal.

L'exploitation de l'élévateur et son entretien doivent être aisés, sûrs et peu coûteux; les réparations nécessaires, et surtout celles auxquelles on doit procéder après les accidents, qu'on ne peut jamais éviter en pratique, doivent pouvoir être effectuées rapidement et aisément, pour que par suite de la mise hors de service éventuelle de l'ouvrage, la navigation ne soit pas arrêtée pendant trop longtemps sur le canal.

De tous les élévateurs exécutés pour des bateaux de grandes dimensions, c'est *l'écluse à sas* usuelle, mais modernisée, qui s'est montrée comme étant le système le plus parfait, lorsque l'eau d'alimentation nécessaire dont le volume indispensable est assez élevé

pour de fortes chutes et pour un trafic intense même lorsque l'on fait usage de bassins d'épargne, peut être fournie d'une manière économique.

Par un développement convenable du tracé et une répartition appropriée des écluses, telle que l'exige le trafic du canal, on peut arriver à vaincre aisément une altitude de 300 à 400 m. et racheter une descente de même hauteur, en suivant progressivement la configuration du terrain, comme le montre par exemple le projet du canal du Danube à la Moldau.

Là où la hauteur de chute doit être concentrée et où il n'est pas possible de contourner le versant, les *écluses étagées en séries doubles* constituent un moyen propre à faire face aux exigences d'un trafic intense.

En cas de pénurie d'eau, l'Ingénieur qui fait le tracé dispose des *ascenseurs verticaux à pistons plongeurs et de ceux à flotteurs*, qui se sont bien comportés pour des chutes de 15 à 25 mètres.

Toutefois il peut être désirable par suite d'une configuration spéciale du terrain de pouvoir recourir encore à d'autres systèmes d'élevateurs lors de l'élaboration d'un projet de canal, et spécialement à des systèmes de *voies ferrées inclinées, propres au transport des bateaux*, pour lesquels des projets ingénieux ont été dressés, mais qui jusqu'ici n'ont été mis en application que pour des bateaux de faible tonnage.

La préférence à donner à l'un ou à l'autre type d'élevateur, ou à une combinaison de plusieurs systèmes sur une même ligne de canal pour un trafic donné, résultera dans chaque cas d'une étude approfondie, pour laquelle il ne suffira pas d'envigager une portion déterminée du canal, mais il faudra considérer la totalité du parcours.

Nous nous proposons de rechercher dans le présent rapport quelle est l'influence des divers systèmes d'élevateurs sur la faculté de rendement d'un canal et sur la détermination de son tracé, en admettant que des opérations analogues nécessitent la même perte de temps pour des ascenseurs différents. On a eu égard, à cet effet, aux résultats publiés à l'occasion du concours international institué par le Gouvernement autrichien en 1903 pour un ascenseur pour bateau à Anjezd sur le canal du Danube à l'Oder.

Pour avoir une base sûre pour l'examen de différents types d'élevateur, nous indiquerons les manipulations et l'ordre dans lequel elles doivent s'effectuer pour des *bateaux-types de 600 tonnes*, on supposant que l'élevateur soit exécuté d'une façon parfaite au point

de vue technique et dans tous ses détails mécaniques, qu'il fonctionne avec précision, et qu'il soit desservi par un personnel expérimenté. Les perfectionnements réalisés pour un certain type d'élévateur viendront à profit, au même titre, également aux autres systèmes d'élévateurs en ce qui concerne des détails de construction analogues et leur conformation idéale.

Nous avons admis pour la durée des opérations partielles les taux relatifs à des constructions existantes qui nous ont été communiqués officiellement et que nous avons vérifiés par des observations personnelles; nous avons appliqué d'une manière analogue ces taux aux projets non encore exécutés.

Pour le halage des bateaux à l'aide du cabestan jusque dans le sas mobile d'un ascenseur ayant 67 m. de longueur utile, 8.80 m. de largeur et 2.50 m. de mouillage, nous compterons *4 minutes*; c'est la durée observée à l'ascenseur de Henrichenbourg pour des bateaux de 600 t. en temps d'exploitation intense et continue. Une diminution de cette durée ne paraît pas possible en pratique, non seulement eu égard aux dimensions forcément réduites de la section de l'eau dans le sas (fig. 8 *a* à *d*) et de la résistance au mouvement élevée, mais principalement à cause des grandes précautions indispensables pour que le bateau qui pénètre ne vienne buter contre les portes de fermeture du sas et ne les détériore (fig. 2, 3, 4, 5), ce qui endommagerait l'ouvrage entier.

Pour l'opération semblable nous compterons, en revanche, en ce qui concerne l'écluse à sas, eu égard à la section mouillée relativement grande, dont on peut faire choix (fig. 7 *a*, *b*) et eu égard à la solidité de ses parties constructives, mieux à même de résister aux chocs du bateau, sur une durée de *3 minutes*.

La longueur utile du sas comporte la même longueur de 67 m., mais sa largeur est de 9 m. et son mouillage de 3 m. ou même davantage.

Le bateau même avance dans les deux cas de 100 m., fût-ce à son entrée dans le sas de l'ascenseur ou dans celui de l'écluse, fût-ce à sa sortie.

Pour orienter un bateau qui ne se trouve pas dans l'axe du sas ou de l'écluse (fig. 1 à 5), comme cela se présente inévitablement, surtout lorsque les bateaux se croisent, et l'amener dans l'axe nous compterons, pour tous les systèmes sur une durée de *1 minute*.

Nous faisons abstraction dans nos croquis, des longueurs non justifiées qui pourraient être données aux têtes des ouvrages, ou des ponts à passe trop étroite établis sur le canal, qui pourraient voir de l'influence sur la capacité du rendement .

Nous allons exposer dans ce qui suit les résultats des recherches analytiques faites au sujet de la *capacité de rendement théorique de divers types d'élevateurs*. La faculté de rendement maxima effective qu'on pourrait atteindre pour un canal à trafic intense et continu, si l'on tient compte des divers obstacles de petite importance qui surviennent en réalité, peut être considérée dans les cas les plus favorables comme s'élevant à 75 % *environ* seulement de la valeur théorique.

A. — Ecluses à sas.

Nous admettons que toutes les vannes, les portes et les cabestans sont manœuvrés à l'électricité. Le courant électrique est produit par une force hydraulique au droit de l'écluse même; une petite turbine y est installée à cet effet. La manœuvre des portes et des vannes est commandée à partir d'un point déterminé.

Le busc d'amont est situé à la plus grande profondeur possible (nous le supposerons à 4 m. 50) en contrebas du niveau d'amont, afin que le remplissage du sas s'opère aussi tranquillement et rapidement que possible, que l'entrée et la sortie des bateaux soient facilitées et que le courant et les oscillations du niveau de flottaison des biefs attenants, convenablement élargis aux têtes de l'écluse, soient réduits à un minimum sans effet nuisible.

ECLUSE A SAS (A PUIITS) DE 10 M. DE CHUTE A DEUX BASSINS D'ÉPARGNE
(fig. 1 et fig. 7 a, b).

I. *Durée de stationnement d'un bateau à l'écluse :*

1. Entrée du bateau venant d'aval dans le sas	3' 00''
2. Fermeture des portes d'aval	0' 30''
3. Remplissage du sas (1).	4' 00''
Ralentissement par suite de l'utilisation	} 6' 00''
des deux bassins d'épargne (2) 1' + 1' = 2' 00''	
4. Ouverture des portes d'amont	0' 30''
5. Sortie du bateau.	3' 00''
Total.	13' 00''

ce qui fait avancer le bateau de $100 + 100 = 200$ m.

(1) On emprunte au bief supérieur 3.100 m^3 , aux bassins d'épargne 3.000 m^3 , le débit moyen = 25.5 m^3 par seconde, comme cela se produit, par exemple, aux écluses bien aménagées de la Moldau canalisée. Laurell compte pour le remplissage des écluses de Trollhätta sur un débit moyen de 44 m^3 par seconde.

(2) Conformément aux observations directes faites pour les écluses à bassins d'épargne du canal de Charleroi à Bruxelles (Rapport de E. Lefebvre, Düsseldorf 1902). Le constructeur peut à son gré, par un système approprié et par les dimensions des vannes, celles des bassins d'épargne et la section des larrons, régler la durée de remplissage et de vidange du sas.

Il faut 6 minutes pour l'ascension du bateau, 7 minutes pour les opérations accessoires.

II. *Intervalle entre les bateaux qui se succèdent à la file.*

Les opérations mentionnées sous les nos 1 à 5 pour le passage du 1 ^{er} bateau durent.	13' 00''	
6. Fermeture des portes d'amont	0' 30''	
7. Vidange du sas et remplissage des deux bassins d'épargne (comme au n° I, 3)	6' 00''	
8. Ouverture des portes d'aval	0' 30''	
	<hr/>	7' 00''
Total.		<hr/> 20' 00''

Ce n'est que maintenant que l'on peut procéder à l'éclusage du 2^d bateau. L'intervalle entre les bateaux est donc de 20 minutes, ce qui correspond, pour une vitesse de parcours de 4 km. par heure, à une distance de 1,333 kms.

III. *Croisement de deux bateaux au droit de l'écluse.*

Les opérations énumérées sous I, de 1 à 5 pour l'éclusage du 1 ^{er} bateau durent	13' 00''	
6. Orientation dans l'axe du sas de l'écluse du 2 ^d bateau placé dans la partie latérale du bief supérieur.	1' 00''	
7. Entrée de ce bateau dans le sas.	3' 00''	
8. Fermeture des portes d'amont	0' 30''	
9. Vidange du sas, etc. . . . 4' 00'' + 2' 00''	6' 00''	
10. Ouverture des portes d'aval.	0' 30''	
11. Sortie du 2 ^d bateau.	3' 00''	
	<hr/>	14' 00''
12. Orientation du 3 ^e bateau dans l'axe du sas		1' 00''
Total.		<hr/> 28' 00''

Telle est la durée complète du passage de deux bateaux qui se croisent. Elle comprend pour la montée ou respectivement pour la descente 12' 00''
pour les manipulations accessoires 16' 00''

Tout bateau doit attendre pour pouvoir se croiser au droit de l'écluse $13' + 1' = 14$ minutes.

Le tableau suivant fait voir l'influence que peut avoir la hauteur de chute de l'écluse sur la faculté de rendement. L'écluse de 5 mètres de chute est une écluse ordinaire, les autres sont des écluses à puits pourvues du nombre de bassins d'épargne nécessaire pour que la quantité d'eau d'éclusage à emprunter au bief supérieur reste constante et égale à 3100 mètres cubes. Le restant du volume d'eau doit être fourni par les bassins d'épargne. Les retards dus aux manipulations sont comptés à raison de 1 minute par bassin d'épargne.

Ce tableau a été complété par des indications relatives à la faculté de rendement que présentent des écluses accolées, c'est-à-dire deux écluses à sas juxtaposés, dont l'une et l'autre servent alternativement de bassin d'épargne pour l'éclusage, ce qui permet d'économiser environ 40 % (théoriquement 43,75 %) d'eau. L'analyse a été faite comme pour l'ascenseur à sas à piston plongeur. On a admis comme pour les bassins d'épargne des retards d'une minute pour le remplissage des sas. Il y aurait encore lieu d'ajouter pour les écluses accolées à la durée de l'éclusage un supplément de 2 minutes, pour la même raison que celle qui sera indiquée pour l'écluse à sas mobile.

Hauteur de chute m.	Nombre des bassins d'épargne	Temps nécessaire pour l'éclusage d'un bateau			Intervalle quand les bateaux		Ecluses accolées avec grande économie d'eau		
		pour l'ascension ou la descente	pour mani- pulations accessoires	Total	se suivent à la file	se croisent	Stationne- ment du bateau aux écluses	Intervalle	
								Quand les bateaux se suivent	Quand les bateaux se croisent
5	—	2'	7' }	9'	12'	20'	10'	7'	11'
10	2	6'		13'	20'	28'	12'	9'	13'
15	4	10'		17'	28'	36'	—	—	—
20	6	14'		21'	36'	44'	—	—	—

Les *variations éventuelles du niveau de flottaison* dans les biefs attenants n'ont guère d'influence sur la durée de l'éclusage.

B. — Ascenseurs verticaux.

A. — *Ascenseurs à flotteurs à sas unique* du type de l'ascenseur pour bateaux d'Henrichenbourg. — D'après les indications officielles, l'ascension de 14 m. de hauteur s'accomplit à l'ascenseur de Henrichenbourg en 2 1/2 minutes. La durée d'un éclusage double,

c'est-à-dire des éclusages nécessaires pour opérer la montée et la levée d'un bateau, y compris le temps voulu pour l'entrée et la sortie du sas, est de 25 minutes, sauf retards imprévus. Cette durée ne comprend que 18 minutes pour l'entrée et la sortie des bateaux à l'aide des cabestans.

ASCENSEURS A FLOTTEURS DE 20 M. DE CHUTE (fig. 2).

I. La durée du stationnement d'un bateau au droit de l'ascenseur peut s'établir comme suit :

1. Entrée du bateau dans le sas	4' 00"
2. Fermeture des portes, vidange de l'espace nuisible, décalage du coin d'étanchement	1' 30"
3. Ascension, respectivement descente du sas	3' 00"
4. Calage du coin d'étanchement des portes, remplissage de l'espace nuisible, levage des portes.	1' 30'
5. Sortie du bateau	4' 00"
Total	14' 00"

II. Intervalle entre les bateaux qui se suivent à la file, comme pour l'écluse :

$$14' 00'' + 1' 30'' + 3' 00'' + 1' 30'' = 20 \text{ minutes.}$$

III. Croisement de deux bateaux au droit de l'ascenseur, comme pour l'écluse, en ayant égard à l'orientation dans l'axe du sas des bateaux placés de côté :

$$14' 00'' + 1' 00'' + 4' 00'' + 1' 30'' + 3' 00'' + 1' 30'' + 4' 00'' + 1' 00'' = 30 \text{ minutes.}$$

B.—*Ascenseurs avec deux sas à pistons plongeurs* se déplaçant simultanément l'un vers le haut, l'autre vers le bas, d'après le type récent des ascenseurs du Canal du Centre en Belgique.

D'après le rapport de M. Genard, la durée d'une ascension, comptée à partir de l'instant où les bateaux sont arrivés respectivement à l'amont et à l'aval à 30 mètres de distance de l'ouvrage, jusqu'au moment où après la descente et la montée respective les bateaux se trouvent transportés à la même distance de 30 mètres du

côté opposé de l'ascenseur, comporte au total *15 minutes* à l'ascenseur de La Louvière, dont la hauteur est de 15^m397 ; cette durée comprend $2' 15''$ pour celle du déplacement des sas. Les sas ont les dimensions utiles suivantes : longueur 43,00 m., largeur 5,80 m., mouillage 2,40 m. ; ils peuvent servir au transport de bateaux ayant un tonnage allant jusque 360 tonnes.

ASCENSEUR A SAS A PISTONS PLONGEURS DE 20 M. DE HAUTEUR DE CHUTE (fig. 3) pour bateaux de 600 tonnes. On peut admettre qu'ils se comporteraient au point de vue de la perte de temps, pour les diverses manipulations, de la même manière que les ascenseurs à flotteurs, à savoir :

I. *Durée de stationnement d'un bateau au droit de l'ascenseur :*

1. Entrée du bateau dans le sas	4' 00''
2. Abaissement des portes, vidange de l'espace nuisible, desserrage du coin d'étanchement	1' 30''
3. Ascension d'un sas et descente simultanée de l'autre .	3' 00''
4. Accolage, serrage du coin d'étanchement, remplissage de l'espace nuisible, ouverture des portes et verrouillage, manœuvre des signaux d'arrêt des bateaux.	1' 30''
5. Sortie du bateau	4' 00''
Total.	14' 00''

II. *L'intervalle entre les bateaux qui se suivent à la file* est de $14' 00'' - 4' 00''$ ou de *10 minutes* seulement, en notant que pendant la sortie du sas du premier bateau l'on peut procéder en même temps à faire entrer le second bateau dans l'autre sas, qui est complètement libre.

III. *Le croisement de deux bateaux* exige, en admettant que leur entrée et leur sortie, ainsi que le levage et la fermeture des portes et les autres manipulations s'effectuent exactement au même moment pour les deux sas, et eu égard à l'orientation dans l'axe du sas à donner au second bateau, qui est venu préalablement se placer de côté, une durée de $14' 00'' + 1' 00'' = 15 minutes$.

Ces manipulations simultanées ne peuvent être effectuées exactement en même temps que dans des cas exceptionnels, quand tous les

arrangements sont pris pour en faire l'essai ; il y aurait donc lieu d'ajouter en pratique à cette évaluation théorique un supplément de 2 minutes environ.

On n'a pas pris en considération, ni pour le système dont nous venons de parler, ni pour l'ascenseur à flotteur, les retards qui peuvent survenir dans les manipulations par suite *des variations éventuelles du niveau de flottaison* dans les biefs attenants ; le vent par exemple peut provoquer dans le bief supérieur pour le niveau de flottaison une surélévation de 25 cm. et une baisse de même importance pour le niveau de flottaison du bief inférieur ; il pourrait donc se produire une variation de 50 cm. de la hauteur de chute. La compensation des niveaux de flottaison dans le sas et dans les biefs exige une assez longue durée, et diminue donc les taux maxima théoriques établis pour la faculté de rendement à l'état normal.

Le tableau suivant rend compte, pour les deux types d'ascenseurs que nous venons de considérer, de l'influence que des hauteurs de chutes différentes se rapportant à des niveaux normaux de flottaison ont sur la valeur du rendement réalisable ; il en ressort, par suite de la rapidité avec laquelle on parvient à vaincre la différence de niveau, que la capacité de rendement conserve en pratique à peu près une valeur uniforme pour des hauteurs de chute de 10 à 25 mètres.

HAUTEUR DE CHUTE	ASCENSEURS A FLOTTEURS A SAS UNIQUE				ASCENSEURS A DEUX SAS A PISTONS-PLONGEURS			
	Durée de l'ascension ou de la descente	Durée de l'éclu- sage d'un bateau	Intervalle entre les bateaux		Dée de l'ascension ou de la descente	Durée de l'éclu- sage d'un bateau	Intervalle entre les bateaux	
			se suivant à la file	se croisant			se suivant à la file	se croisant
10 m	2'00"	13'00"	18'00"	28'00"	2'00"	13'00"	9'00"	14'00"
15 m	2'30"	13'30"	19'00"	29'00"	2'30"	13'30"	9'30"	14'30"
20 m	3'00"	14'00"	20'00"	30'00"	3'00"	14'00"	10'00"	15'00"
25 m	3'30"	14'30"	21'00"	31'00"	3'30"	14'30"	10'30"	15'30"

C. — Voies ferrées (ou plans inclinés) pour le transport de bateaux.

Parmi les quelques ascenseurs de ce système, exécutés jusqu'ici pour des bateaux d'un faible tonnage seulement, il convient de citer

l'installation du plan transversal à double voie, incliné à $1/4$, exécutée à Foxton, en Angleterre, par l'ingénieur *Thomas*, et mise en exploitation en l'an 1901. La différence de niveau à vaincre comporte 22,91 m. Les sas ont chacun 24,38 m. de longueur, 4,57 m. de largeur et un mouillage de 1,37 m.; ils permettent de transporter des bateaux d'un tonnage maximum de 70 tonnes. D'après le rapport de Gordon C. Thomas, les transports partiels de bateaux peuvent être effectués à 15 minutes d'intervalle pour des bateaux se croisant au droit de l'ascenseur; cela correspond entièrement avec les résultats de notre analyse, si l'on tient compte des longueurs plus réduites du bateau et du parcours et des dimensions moindres des portes et des sas à mettre en mouvement à l'ouvrage en question. Pour que les bateaux puissent se croiser plus aisément, et plus rapidement, il eut été avantageux d'élargir le canal à la tête amont et à la tête aval, comme l'indiquent les traits pointillés sur la figure.

Dans les analyses qui vont suivre, au sujet de la faculté de rendement des voies ferrées de différents systèmes propres au transport de bateaux de 600 tonnes et relatives à des hauteurs de chute d'une certaine importance, nous avons *fait abstraction des plans inclinés longitudinaux à sas unique*, ainsi que des *plans inclinés à chambre d'amont à sec*, quelque économiques et avantageuses que puissent être ces installations, dans certaines circonstances, parce que leur faculté de rendement pour des canaux à grande section et à trafic intense se trouve considérablement dépassée par celle des installations, quoique plus coûteuses, à deux sas équilibrés.

a) *Plan longitudinal à double voie, incliné à $1/25$ et d'une hauteur de chute de 40 mètres.* — Si l'on envisage les avantages que présentent les divers projets présentés au concours international de 1904, c'est-à-dire celui qui a été classé premier, et ceux qui méritent une certaine attention par suite des particularités qu'ils offrent, et si l'on fait abstraction du système de mise en mouvement (fût-ce par train de roues, par rouleaux ou par sabots à glissières), des modes de supports et d'équilibrage des sas, et des portes et autres détails constructifs quelque ingénieux qu'ils aient été combinés, et si l'on réunit en un projet parfait, échappant à toute critique et pouvant être exécuté, tous les avantages des projets partiels, si en outre on fait abstraction de la force motrice nécessaire et du coût de l'ouvrage, on arrive, en recherchant la faculté de rendement d'un type de l'espèce à sas transporté à sec, esquissé fig. 4, aux résultats ci-après :

I. *Durée du passage d'un bateau au droit de l'ascenseur :*

1. Entrée du bateau, durée analogue à celle d'Henrichenbourg.	4'00"
2. Fermeture des deux portes, vidange de l'espace nuisible, desserrage du coin d'étanchement, ou respectivement du raccord au sas supérieur et au sas inférieur, mise en place du bateau dans le sas	1'30"
3. Départ et accostage (1), $1' + 1' =$	2'00"
Le parcours proprement dit pour une vitesse moyenne de 0 ^m 50 sur une longueur de $40 \times 25 = 1,000$ m. : $1,000 : 0\text{E},5 = 2,000'' : 60 =$	33'20"
	35'20"
4. Accolage du sas aux portes du bief, serrage du coin d'étanchement, vidange de l'espace entre les portes du sas et les portes du bief, levage des portes, pour le sas supérieur et le sas inférieur, et en même temps.	1'30"
5. Sortie du bateau	4'00"
Total. . . .	46'20"

Cette durée comprend 35'20" pour accomplir l'ascension et 11'00" pour les opérations accessoires; il y a lieu de remarquer ici que dans le cas d'un *transport éventuel à sec*, il faudrait pour la vidange du sas, au droit du bief, avant la mise en marche, et pour son remplissage, après abordage au droit du second bief, afin de permettre la sortie, une durée supplémentaire de $3' + 3'$ ou de 6 minutes; la durée du passage du bateau par l'ascenseur durerait donc 52'20".

Mais pendant cet intervalle le bateau parcourt une longueur égale à $100 + 1,000 + 100$ ou 1,200 mètres.

II. *Intervalle entre les bateaux qui se suivent à la file;* en admettant que, pendant que s'opère la sortie du premier bateau, le second fasse son entrée, cet intervalle est de $46'20'' - 4'00''$ ou de 42'20".

III. *Croisement de deux bateaux;* en faisant les mêmes hypothèses que pour les ascenseurs à sas à pistons-plongeurs et en ajoutant $2 \times 2 = 4$ minutes pour tenir compte de la grande distance de

(1) Pour que l'eau ne subisse pas d'oscillations sensibles et que l'abordage aux deux têtes puisse se faire sans danger.

1,000 mètres à laquelle les opérations simultanées du mouvement des bateaux, de celui des portes, etc., doivent se faire en même temps. La durée théorique serait donc de $46'20'' + 1'00''$ $47'20''$.

b) *Plan transversal incliné à $1/4$; hauteur de chute de 40 m. et vitesse moyenne de parcours de 0,5 m.*

α) LIVRANT PASSAGE A UN BATEAU.

I. *Durée du stationnement du bateau au droit de l'ascenseur ; en faisant des hypothèses analogues à celles relatives aux opérations partielles énumérées au lit. C, n° I, et en supposant que le transport se fait à flot :*

$3'00'' + 1'30'' + 1' + 1' + \left(\frac{4 \times 40}{0,5} = 5'20'' \right) + 1'30'' + 1'00'' = 18'40''$, dont $7'20''$ pour l'ascension et $11'00''$ pour les opérations accessoires.

II. *Intervalle entre les bateaux qui se suivent à la file :*
 $18'20'' + 1'30'' + 2' + 5'20'' + 1'30'' = 28'40''$.

III. *Le croisement de deux bateaux dure :*

$18'20'' + 1' + 4'00'' + 1'30'' + 2' + 5'20'' + 1'30'' + 4'00'' + 1' = 38'40''$.

β) LIVRANT PASSAGE A DEUX BATEAUX.

La perte de temps peut s'évaluer d'une façon analogue comme suit :

I.	$4'00'' + 1'30'' + 1' + 5'20'' + 1' + 1'30'' + 4'00'' =$	$18'20''$
II.	$18'20'' - 4'00'' =$	$14'20''$
III.	$18'20'' + 1'00'' =$	$19'20''$

Le tableau suivant donne les résultats relatifs à des différences de niveau variant de 10 à 100 mètres dans le cas d'une vitesse moyenne de 0^m5, et également dans celui d'une vitesse moyenne de 1^m00 des sas pour le cas d'un plan incliné à $1/25$, en tenant compte toutefois, pour la mise en marche et pour l'accostage, d'une valeur égale au double de celle admise pour le cas de la vitesse de 0^m50, c'est-à-dire de $2' + 2' = 4$ minutes.

Nous avons considéré en outre, parmi les diverses variantes possibles, le cas d'un plan longitudinal incliné à 1/10, mais cette éventualité conduit à une valeur très importante pour la hauteur de l'infrastructure du sas à son extrémité aval, et pour la profondeur des chambres à sec à aménager à la tête du bief inférieur.

Tableau relatif à la faculté de rendement de divers plans inclinés.

DIFFÉRENCES DE NIVEAU	PLAN LONGITUDINAL POUR DEUX BATEAUX						Plan transversal incliné à 1:4			
	incliné à 1 : 25				incliné à 1 : 10		pour $v = 0,5$ m.			
	pour $v = 0,5$ m.		pour $v = 1,0$ m.		pour $v = 0,5$ m.		à un bateau		à deux bateaux	
	les bateaux se suivant à la file	les bateaux se croisant	les bateaux se suivant à la file	les bateaux se croisant	les bateaux se suivant à la file	les bateaux se croisant	les bateaux se suivant à la file	les bateaux se croisant	les bateaux se suivant à la file	les bateaux se croisant
10 m.	17'20"	22'20"	15'10"	20'10"	12'20"	17'20"	20'40"	30'40"	10'20"	15'20"
20 m.	25'40"	30'40"	19'20"	24'20"	15'40"	20'40"	23'20"	33'20"	11'40"	16'40"
30 m.	34'00"	39'00"	23'30"	28'30"	19'00"	24'00"	26'00"	36'00"	13'00"	18'00"
40 m.	42'20"	47'20"	27'40"	32'40"	22'20"	27'20"	28'40"	38'40"	14'20"	19'20"
60 m.	59'00"	64'00"	36'00"	41'00"	29'00"	34'00"	34'00"	44'00"	17'00"	22'00"
100 m.	92'20"	97'20"	52'40"	57'40"	42'20"	47'20"	44'40"	54'40"	22'20"	27'20"

Les indications du tableau sont favorables surtout en ce qui concerne le plan incliné transversal pour le transport de deux bateaux ; mais il y aurait lieu ici encore comme précédemment d'avoir égard à la difficulté qu'il y a à réaliser simultanément au même moment les manipulations respectives pour les deux sas, et de tenir compte d'une durée supplémentaire de $2' + 2' = 4$ minutes.

Dans le cas de variations des niveaux de flottaison, il y aurait à évaluer les pertes de temps exigées par la compensation des niveaux.

D. — Ascenseurs tournants.

Jusqu'ici aucun ouvrage de ce genre n'a encore été exécuté ; mais il en existe des projets, et notamment celui auquel a été accordé le 2^d prix au concours international de 1904, portant la devise " Habsburg ", qui fut dressé dans tous ses détails.

En admettant que les ascenseurs de l'espèce puissent être utilisés avec succès même dans le cas de fortes variations des niveaux normaux de flottaison des biefs attenants, et que les effets de la dilatation, relatifs à une augmentation de la température pour une partie seulement de la construction, et l'action du vent, etc. puissent être combattus, points au sujet desquels les auteurs du projet primé proposeront des améliorations, et en supposant, en outre, qu'on puisse régler à volonté la vitesse de rotation des masses énormes à mettre en mouvement, et que les autres manipulations à l'entrée et à la sortie du bateau, ainsi que la manœuvre des portes, etc., s'opèrent d'une manière analogue à celle appliquée à d'autres systèmes d'ascenseurs, on trouve pour la dépense de temps relative à *un ascenseur tournant à deux bateaux et à hauteur de chute* de 40 m. (fig. 5) les quantités suivantes :

I.	4' 00" + 1' 30" + rotation (1' + 6' + 1') + 1' 30"	
	+ 4' 00" =	19' 00"
II.	19' — 4' =	15' 00"
III.	19' + 1' =	20' 00"

Ici encore il y aurait lieu d'ajouter une durée additionnelle minima de 2 minutes en égard au fait, que l'on a supposé que les manipulations à opérer aux deux sas doivent s'effectuer en même temps. Les auteurs du projet primé en tiennent largement compte, en augmentant, suivant les besoins, pour arrondir les résultats, de 6' 12" et de 6' 30" les taux établis.

On pourrait évaluer d'une façon analogue la faculté de rendement d'autres systèmes d'ascenseurs, en admettant que leur parfaite exécution et leur exploitation soient réalisables ; il en est ainsi notamment des divers systèmes d'écluses à bassins d'épargne, quoiqu'elles aient paru au concours international de l'ascenseur d'Anjezd trop coûteuses et trop complexes, *parce que certains auteurs de projets ont fait l'hypothèse d'une pénurie d'eau complète, et cependant cette éventualité est loin de devoir se présenter pour le canal du Danube à l'Oder*, et en outre, le § 1 des conditions relatives au concours prescrivait qu'une exploitation *économique* du trafic du canal soit garantie par les installations de l'ascenseur avec la plus petite dépense en eau possible, mais nullement sans aucune dépense de l'espèce.

Les systèmes d'ascenseurs que nous avons examinés de A à D, dont certains types ont déjà été mis à exécution pour les dimensions

considérées, ou dont la réalisation pour d'autres moyennant dépense élevée correspondante, question que nous ne discuterons pas ici, ne soulève pas d'objection au point de vue technique, présentent les propriétés suivantes lorsqu'on les compare entr'eux au point de vue de leur faculté de rendement.

a. *Elévateurs pour bateau unique.*

1. *L'écluse à sas ordinaire* sans bassins d'épargne, est pour de petites hauteurs de chute l'*élévateur pour bateaux d'une capacité de rendement maxima*, dont la rapidité voulue pour le remplissage et la vidange, l'ouverture et la fermeture des portes et la manœuvre des mécanismes est confirmée par l'expérience aux constructions existantes, et qui ont donné entière satisfaction à tous les points de vue. Cette capacité de rendement diminue toutefois pour de grandes hauteurs de chute, *parce qu'il faut chercher à éviter la formation de courants trop intenses dans les biefs attenants lors de l'éclusage*, et que ces courants ne sont qu'atténués et non supprimés par une augmentation de profil du canal.

2. *Les écluses à bassins d'épargne* réduisent la dépense en eau et la force du courant dans les biefs du canal ; mais en augmentant le nombre des bassins d'épargne, la construction se complique, son rendement diminue, et il en résulte des objections d'ordre technique et au point de vue de leur exploitation s'il s'agit de les adopter en *un point déterminé* d'un canal principal à trafic intense pour le rachat de hauteurs de chute importantes dépassant 15 mètres. Elles constituent néanmoins pour des chutes allant jusque 15 mètres environ, au système d'élévateur avantageux sous le rapport du rendement, et se comportant bien.

3. *Les ascenseurs à flotteurs* se distinguent par une capacité de rendement considérable, à peine influencée par l'importance de la différence des niveaux à vaincre. Toutefois pour des hauteurs de chute trop faibles, l'influence défavorable de la manœuvre des portes, ainsi que des précautions plus grandes à prendre pour l'entrée et la sortie des bateaux se fait sentir. Le rachat en un point donné, de hauteurs trop importantes, dépassant 25 mètres se trouve limité par des difficultés d'exécution.

4. Parmi les *plans inclinés à voie ferrée pour bateaux*, il n'y aurait lieu de prendre en considération dans le cas d'une pénurie absolue d'eau que *les plans transversaux inclinés aussi fortement*

que possible, si le trafic est intense, quoiqu'ils ne soient pas en état de fournir pour des différences de niveau de 10 m. à peine, peu compatibles avec l'établissement de plans inclinés pour des raisons économiques, un rendement satisfaisant, parce que même dans le cas d'une rapide ascension, les manipulations accessoires non susceptibles d'une exécution de plus courte durée, font perdre beaucoup de temps.

b. Elévateurs pour deux bateaux.

1. Les *écluses accolées* sont capables, lorsqu'elles sont bien aménagées et que le volume d'eau dont on dispose est suffisant, de répondre pour des hauteurs de chute moyennes, allant jusque 12 m. environ, aux exigences du trafic intense d'un canal de navigation intérieure.

2. Les *ascenseurs à sas à pistons-plongeurs*, dont l'expérience a confirmé l'adoption utile, pour des bateaux de 360 tonnes, conviennent particulièrement bien en cas de pénurie d'eau pour desservir le trafic intense d'un canal, lorsque la différence de niveau à vaincre ne dépasse pas 25 mètres environ.

3. Pour des différences de niveau supérieures à 30 m. à racheter par une chute unique, ce sont les *plans inclinés transversaux pour deux bateaux à forte inclinaison*, déjà consacrés par la pratique quoique sur une échelle assez restreinte, ainsi que les *ascenseurs tournants*, dont il n'existe pas encore d'exemple, mais qui sont susceptibles d'être exécutés, qui présentent une grande capacité de rendement.

4. Les *plans inclinés longitudinaux pour deux bateaux* constituent en cas de pénurie absolue d'eau, pour un versant faiblement incliné et une hauteur de chute moyenne, des moyens utilisables, lorsque le trafic n'est pas trop intense. Mais étant donné que par suite de raisons techniques, des plans de l'espèce ne peuvent guère être inclinés à plus de 1/10 pour des bateaux de grand tonnage, qu'en outre, au point de vue économique, leur installation de même que leur exploitation sont coûteuses pour des hauteurs de chute inférieures à 20 mètres, et que pour de grandes différences de niveaux, même avec des vitesses élevées et indépendamment du travail moteur important auquel il faudrait recourir, la capacité de rendement désirable ne peut

être atteinte à cause des manipulations accessoires dont la durée est longue, leur utilisation paraît devoir être limitée au rachat par une chute unique de différences de niveau comprises entre 30 et 60 mètres.

Le tableau suivant fait connaître, pour les ascenseurs que nous avons considérés jusqu'ici et pour différentes hauteurs de chute, la valeur théorique de *leur faculté de rendement* et la valeur probable qu'elle atteindrait en pratique.

On a supposé un trafic intense et admis pour la navigation le cas le plus défavorable qui puisse se présenter, celui de quatre bateaux se présentant au droit de l'ascenseur, et dont trois doivent passer dans le même sens et le quatrième en sens contraire; on a encore admis qu'au lieu de 600 t., les bateaux ne portent qu'un tonnage moyen de 375 t., et que l'exploitation se poursuit pendant 250 jours par année pour un service journalier de 15 heures.

Nous allons montrer sur un exemple particulièrement instructif, celui du projet de

Canal du Danube à l'Oder

l'influence que peut avoir à l'heure actuelle la question des ascenseurs sur le tracé d'un canal (fig. 10a à e).

Ce canal doit relier le Danube à partir de Vienne, à la cote 160, au point Märisch-Ostrau, de l'Oder, situé à la cote 200. La longueur du canal varie entre 265 et 275,5 kms, la cote du bief se partage entre 284,1 et 260,0 m.; la hauteur totale à vaincre varie par conséquent entre 200,7 et 152,5 m., si l'on considère comme extrémité provisoire du canal le port de M.-Ostrau, qui est situé à la cote 207,5.

La fig. 10a représente *le projet à écluses de l'an 1873*. La hauteur de chute perdue, les nombreuses écluses (84) et les biefs très courts (ayant souvent 500 m. seulement) séparant les écluses, s'opposèrent évidemment à la réalisation de ce projet, qui fut abandonné; nous ne nous y arrêterons donc pas.

Le *projet de 1894* (1), représenté fig. 10b, qui se compose exclusivement de plans inclinés, pour obtenir des biefs aussi longs que possible pour trains de bateaux, ne put être mis en exécution, parce que l'on constata ultérieurement que le système d'ascenseur dont on avait fait choix n'était pas réalisable.

(1) Les chiffres entre parenthèses se rapportent à un ancien projet, ceux sans parenthèses à des améliorations qui y ont été apportées dans les derniers temps.

TYPES D'ÉLÉVATEURS (1)	Durée de stationnement du bateau au droit de l'éleveur.	Intervalle entre les bateaux se suivant à la file.	Temps nécessaire au croisement de deux bateaux.	RENDEMENT THÉORIQUE			Rendement probable par an. Tonnes
				NOMBRE DE BATEAUX		tonnes	
				par jour	par an		
A) <i>Élévateurs à un bateau :</i>							
1. Ecluse à sas de 5 m. de chute	9'	12'	20'	82	20.500	7.687,500	5,766.000
2. Ecluse à sas à 2 bassins d'épargne et 10 m. de chute	13'	20'	28'	53	13.250	4.968,750	3.627.000
3. Ascenseur à flotteur de 20 m. de hauteur. . .	14'	20'	30'	51	12.750	4.781,250	3.586.000
4. Plan transversal incliné à 1/4 pour 40 m. de hauteur et $v = 0,5$ m. . .	18'20"	28'40"	38'40"	37	9.250	3,468,750	2,602.000
(2)							
B) <i>Élévateurs pour deux bateaux :</i>							
5. Ecluses accolées de 5 m. de chute	10'	7'	11'	144	36.000	13.500.000	10,125,000
6. Id. de 10 m. de chute.	12'	9'	13'	116	29.000	10,875.000	8,156,000
7. Ecluses à sas à pistons-plongeurs de 20 m. de haut.	14'	10'	15'	103	25.750	9,656,250	7,242.000
8. Plan transversal incliné à 1/4 de 40 m. de hauteur et $v = 0,5$ m. . , . .	18'20"	14'20"	19'20"	75	18.750	7,031,250	5,273,000
9. Plan longitudinal incliné à 1/25, de 40 m. de hauteur et $v = 0,5$ m. . .	46'20"	42'20"	47'20"	27	6.750	2,531,250	1,898.000
10. Id. pour $v = 1$ m.	31'40"	27'40"	32'40"	41	10.250	3,843,750	2,883,000
Id. pour $v = 3$ m. (3)	(21')	(17')	(22')	(64)	(16.000)	(6,000.000)	(4,500.000)
11. Ascenseurs tournant de 40 m. de hauteur . . .	19'	15'	20'	72	18.000	6,750,000	5,062,000

(1) On admet que le transport des bateaux se fait à flot ; il exige une durée moindre que le transport à sec.

(2) On n'a pas pris en considération le retard qui peut survenir du fait que les bateaux n'opèrent pas exactement au même moment leur entrée ou leur sortie dans les sas de l'écluse ou dans ceux de l'élevateur. On n'a pas eu égard non plus à la perte de temps assez sensible qu'entraînent, pour des ascenseurs à sas mobiles, les variations des niveaux de flottaison des biefs attenants pour établir la compensation nécessaire entre ces biefs et les sas.

(3) Résultats peu sûrs par suite de la valeur trop élevée de la vitesse.

Ce projet comprend, comme tous les autres, l'écluse de compensation nécessaire à l'origine du canal; elle doit permettre le passage du Danube, à niveau variable, au canal à niveau de flottaison presque constant.

La fig. 10c représente un projet récent, qui comprend une série d'écluses de 5 m. de chute; la fig. 10d fait voir une *combinaison d'écluses et de plans inclinés* et la fig. 10e montre une étude à l'aide d'écluses à puits d'une chute approximative de 10 m. Les traits pointillés figurent une solution avec bief de partage à l'altitude peu élevée de (260), mais elle entraînerait la construction d'un tunnel de 3,050 m. de longueur à la ligne de faite et une tranchée profonde du côté de l'Oder. A notre connaissance, il n'a encore été dressé jusqu'ici aucun projet comportant des ascenseurs verticaux.

Le bief de partage a été projeté avec des longueurs de 26 et de 75,75 kilomètres, et même avec celle de 5 kilomètres seulement. Pour son alimentation, on a en vue le bassin hydrologique de la Bècva, qui a 972 kms carrés de superficie; on pourrait, en cas de besoin, tirer encore parti d'autres bassins hydrologiques assez importants, sans devoir procéder à l'élévation des eaux par pompage, même si l'on devait conserver la cote de (284) pour le bief de partage. Il existe dans la région suffisamment de vallées, dans lesquelles on pourrait emmagasiner à l'aide de barrages 4 à 13 millions de mètres cubes d'eau, pour alimenter le bief en cas de sécheresse prolongée, quand l'eau nécessaire à l'exploitation ne pourrait être empruntée directement au cours d'eau. Une partie de l'eau du bassin hydrologique suffirait amplement pour compenser les pertes d'eau constantes, autres que celles qu'exigent les systèmes employés pour vaincre les hauteurs de chute et non seulement pour le bief de partage, mais encore pour une partie considérable du canal; cette eau suffirait également en cas de nécessité aux besoins des *éclusages*. Pour un trafic de 4 millions de tonnes par an, avec des écluses à bassins d'épargne de 10 m. de chute ou des écluses ordinaires de 5 m. de chute, le quart des éclusages s'effectuant pour des croisements de bateaux, ces derniers ayant un tonnage moyen de 375 tonnes, *la dépense en eau d'éclusage s'élèverait en chiffres ronds* à 50 millions de mètres cubes, dont l'approvisionnement entraînerait pour un canal à écluses l'exécution d'ouvrages d'un coût de 20 à 30 millions de couronnes. Il est à remarquer que toute la population de la Moravie, qui habite des vallées que les hautes eaux inondent fréquemment, verrait avec plaisir ériger de nombreux barrages, qui la mettraient à l'abri des eaux d'inondations et préviendraient en même temps toute baisse anormale du niveau des eaux. Le coût auquel a été estimé le travail à exécuter

pour emmagasiner l'eau nécessaire aurait donc en même temps un effet utile au point de vue économique pour la contrée et celui de la limitation du lit des cours d'eau, dont il est impossible d'évaluer l'importance par des chiffres. On créerait, en outre, une puissance hydraulique, qu'on pourrait utiliser avec succès et de la valeur de laquelle il y aurait lieu de tenir également compte dans l'estimation.

L'auteur d'un projet de canal du Danube à l'Oder peut donc s'arrêter dans le choix du système d'ascenseur, à celui qui convient le mieux aux versants que traverse le tracé, c'est-à-dire au système qui offre la sûreté voulue au point de vue de l'exploitation, qui présente une grande capacité de rendement, et qui paraît l'emporter sur les autres systèmes au point de vue économique. Ce choix peut se faire à l'heure actuelle, après les résultats acquis grâce au concours international de l'an 1904, plus aisément et plus sûrement, si *l'on résoud la question des ascenseurs en envisageant la longueur totale du tracé, en comparant le coût de l'eau d'alimentation non en supposant qu'il faille élever l'eau d'aval à l'amont, mais en admettant comme de coutume, que l'eau puisse être approvisionnée à hauteur du bief de partage, et qu'elle puisse être distribuée par écoulement à partir de ce point sans frais des deux côtés de la crête d'ascenseur en ascenseur.*

Il est rarement possible de dresser, pour un point déterminé du canal, des projets d'ascenseurs de types différents d'une façon rationnelle pouvant servir à une étude comparative utile au point de vue des résultats auxquels ils peuvent conduire pour déterminer le choix du système et en étendre l'application à toute la longueur du canal. C'est ainsi que les fig. 10 *a*, à *d*, montrent que pour le terrain donné la seule solution qui n'entraîne pas des travaux de terrassements considérables, est celle d'un plan incliné longitudinal de 1/25, quoique un tracé de l'espèce ait difficilement pu être trouvé pour le canal du Danube à l'Oder, et qu'on n'y arrivât qu'en s'écartant des centres industriels existants. Mais la configuration du versant, considéré dans toute sa longueur, ne répond pas à l'adoption de ce type d'ascenseur; l'essai fait à ce sujet et représenté sur la fig. 10 *d*) montre, comparé à la fig. 10 *b*) et étudié dans ses détails, qu'il en est ainsi pour les parties inférieures.

On s'attend sur le canal du Danube à l'Oder à un trafic particulièrement actif et intense; on l'évalue au minimum à 4,000,000 de tonnes par an. *Nos analyses montrent d'une manière suffisamment claire, quels sont les systèmes d'ascenseurs capables de faire face avec sûreté à un trafic de cette importance.*

Quelle est, au point de vue de la prospérité future du canal du Danube à l'Oder, l'importance qu'il faut attribuer au système d'ascenseur et au nombre de ces ouvrages, tels qu'ils se présentent dans les différents projets ?

Le *trafic local* ne se trouve guère influencé par le nombre plus ou ou moins grand des ascenseurs. Il est désirable seulement, que le batelier ne doive pas perdre trop de temps au droit de l'ascenseur pour que son bateau soit éclusé, et que le tracé du canal ne soit pas détourné le long de coteaux éloignés et abrupts. Ce sont les ascenseurs de hauteur de chute moyenne qui conviendront le mieux dans ce cas.

Le *trafic de long parcours* réclame, au contraire, l'adoption d'un nombre réduit d'ascenseurs, et des biefs de grande longueur entre ces ouvrages. Pour parcourir la distance de Vienne au port de M. Ostrau pour une longueur de canal de 270 kilomètres et une vitesse de 4 kilomètres à l'heure, un bateau mettra, abstraction faite de la durée de stationnement aux ascenseurs, 67 h. 30'. Il faut ajouter à ce nombre la perte de temps aux divers ascenseurs; dans le cas le plus défavorable, celui où les bateaux se croisent, cette durée peut s'établir comme suit, conformément aux analyses données précédemment, et en tenant compte du chemin parcouru par le bateau au droit des ascenseurs :

D'après la fig. 10 c), pour 40 écluses à sas de 5 m. de chute :

$$40 \times (9' + 1') - 40 \times 200^m \times \frac{60}{4000} = 280' = 4 \text{ h. } 40'.$$

D'après la fig. 10 e), pour 20 écluses à puits et bassins d'épargne de 10 m. de chute :

$$20 \times (13' + 1') - 20 \times 200^m \times \frac{60}{4000} = 220' = 3 \text{ h. } 40''.$$

D'après la fig. 10 b), pour sept plans longitudinaux à voie double inclinés à 1/25 et une écluse à sas, pour une vitesse de 1 m. (au lieu de 0 m. 5) des sas; (la longueur de ces plans inclinés comporte au total $[283,5 - 160,0 + 283,5 - 212,1] \times 25 = 194,9 \times 25 = 4872,5$ m.); la perte de temps s'élèvera à :

$$7 \times [4' + 1 \frac{1}{2}' + 2' + 2' + 1 \frac{1}{2}' + 4' + 1'] + (9' + 1') - [7 \times 200 + 4872,5] \times \frac{60}{4000} = 28'.$$

La durée du parcours total sera donc respectivement de 72 h. 10', 71 h. 10' et 67 h. 58'; ce dernier chiffre plaide en faveur des plans inclinés longitudinaux à vitesse de translation élevée. Mais en tout cas le bateau ne gagne cette différence de 3 ou de 4 heures de temps que s'il ne doit pas stationner à l'ascenseur avant de pouvoir continuer sa route.

Influence que peuvent avoir les ascenseurs, et les longueurs plus ou moins importantes des biefs qui en dérivent sur la formation de trains de bateaux ?

Le tableau suivant donne des résultats à ce sujet; ses indications résultent de nos analyses antérieures, pour des nombres de bateaux différents, abstraction faite toutefois du bateau-moteur, que nous supposons remplacé par une locomotive électrique qui se déplace sur le chemin de halage; nous avons compté sur une durée de 2' par bateau faisant partie du train, pour la perte de temps qu'entraîne son arrangement au droit de l'ascenseur.

Nombre de bateaux . . .	Intervalle entre les trains de bateaux									
	quand ils se suivent					quand ils se croisent				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Ecluse de 5 m. de chute	12'	28'	42'	56'	70'	20'	44'	66'	88'	110'
» 10 »	20'	44'	66'	88'	110'	28'	60'	90'	110'	150'
Ecluses accolées de 5 m. de chute. .	7'	18'	27'	36'	45'	11'	26'	39'	52'	65'
» 10 »	9'	22'	33'	44'	55'	13'	30'	45'	60'	75'
Ascenseur à flotteur de 20 m. de haut.	20'	44'	66'	88'	110'	30'	64'	96'	128'	160'
Ascenseur à pistons plongeurs de 20 m. de haut.	10'	24'	36'	48'	60'	15'	34'	51'	68'	85'
Plans inclinés longitudinaux à double voie de 40 mètres de hauteur :										
a) pour $v = 0.5$ m. par seconde. . .	42'20"	89'	133'	177'	222'	47'20"	99'	148'	197'	247'
b) pour $v = 1.0$ m. »	27'40"	59'	89'	119'	148'	32'40"	69'	104'	139'	173'

Il ressort de ce tableau, que les *avantages des biefs de grande longueur se trouvent fortement réduits par suite du stationnement des trains partiels de bateaux aux ascenseurs*, et qu'ils deviennent tout à fait *illusoirs* dans le cas des plans inclinés longitudinaux à vitesse de 0,5 m. par seconde. Ainsi dans ce dernier cas, un train composé de 5 bateaux se croisant aux ascenseurs mettrait pour aller de Vienne à Ostende par le tracé donné par la fig. 10 b) : 67 h. 30' + 23 h. 05'. . . . 90 h, 35'; tandis qu'un bateau isolé ne mettrait par le tracé représenté fig. 10 e) que 67 h. 30' + 3 h. 40' ou 71 h. 10'. Un bateau, arrivé à l'ascenseur d'Anjezd, à la côte 204,1, atteindrait l'origine du bief de partage, distante de 23,832 kms. en 7 1/2 heures; à vitesse égale, un train de bateaux atteindrait ce bief après 14 heures et plus ! De quel côté faut-il dès lors chercher les avantages à réaliser au point de vue de la navigation ? Les frais d'exploitation et de remorquage relatifs aux trains de bateaux sont-ils moins élevés que ceux qui se rapportent aux bateaux isolés dans le cas d'une traction mécanique bien organisée, et pour des biefs de moindre longueur ?

Les frais de construction relatifs à la totalité des ascenseurs peuvent être évalués comme suit :

Pour la disposition de la fig. 10c et des écluses de 5 m. de chute, le montant des frais serait

pour 40 écluses simples à 450,000 c.	18,000,000 c.
ou pour le même nombre d'écluses accolées à 760,000 c.	30,400,000 c.

Pour la disposition de la fig. 10e et des écluses de 10 m. de chute, soit

20 écluses ordinaires à bassins d'épargne à 600,000 c.	12,000,000 c.
ou 20 écluses accolées à 900,000 c.	18,000,000 c.

Pour la disposition de la fig. 10b, et 7 plans inclinés longitudinaux à double voie, et des écluses accolées de 5 m. de chute à Ostrau, en se basant sur les indications qui résultent du concours international de l'an dernier :

7 ascenseurs à 4,000,000 seulement de couronnes	28,000,000 c.
1 écluse de 5 m. de chute à 450,000 c.	450,000 c.

Total.	28,450,000 c.
----------------	---------------

Une disposition des ascenseurs, telle que la donne la fig. 10d qui comprend des écluses à sas de Vienne à Prerau, et de M. Ostrau vers l'Oder, et des plans inclinés entre ces deux parties, entraînerait la

construction de barrages d'une importance relativement petite dans le bassin de Becva ; mais l'exploitation des écluses exigerait à partir de Prerau et au-delà de Ostrau, deux fois donc, que l'on empruntât l'eau nécessaire à la Marche et à l'Oder. Etant donné toutefois, que le débit de ces cours d'eau est des plus minime en temps de basses eaux, comme on l'a constaté spécialement en 1904, et qu'on ne pourrait guère leur emprunter d'eau sans porter préjudice à l'agriculture, aux agglomérations environnantes et à l'industrie, il y aurait lieu en place de barrage facilement érigeables et pouvant être agrandis à peu de frais en cas de nécessité dans le bassin de la Becva, de procéder à la construction de barrages beaucoup plus dispendieux et plus complexes dans la région amont de la Marche et dans le bassin de l'Oder, pour pouvoir emprunter aux deux cours d'eau, l'eau nécessaire aux besoins du canal.

Les frais d'exploitation relatifs à la totalité des ascenseurs du canal du Danube à l'Oder, jouent un plus grand rôle encore que les frais de construction, dans le choix de l'ascenseur, auquel il convient de s'arrêter.

Ces frais s'élèvent approximativement au même montant pour *des écluses à sas* à hauteur de chute différente ; c'est pourquoi l'on doit s'efforcer, en tant que leur capacité de rendement ne descende pas en dessous d'un taux inadmissible, *d'en réduire autant que possible le nombre*. La dépense en eau est très peu différente pour des écluses ordinaires de 5 m. de chute de celle relative à des écluses de 10 m. de chute à bassins d'épargne bien aménagés, et même les écluses accolées de 10 mètres de chute ne réclament pour une économie d'eau de 43 % par an, qu'un volume d'eau légèrement supérieur à celui d'une écluse ordinaire sans bassin d'épargne et d'une hauteur de chute moitié moindre !

Pour d'autres *ascenseurs mécaniques pour bateaux*, où l'on ne dispose pas d'une force hydraulique d'un coût peu élevé pour opérer l'ascension et la descente des bateaux, et où, à chacune des dispositions de ce genre et *notamment aux plans inclinés, il est nécessaire d'établir de grandes installations mécaniques*, les frais sont, comme l'a prouvé l'expérience, plusieurs fois plus élevés que pour le nombre correspondant d'écluses à puits nécessaires.

Les frais d'entretien et d'amortissement s'élèvent à des taux élevés spécialement lorsque le canal est exécuté depuis un certain temps, et qu'il n'est pas livré à l'exploitation, et si ensuite le trafic n'atteint pas une importance en rapport avec les intérêts que doivent rapporter les ascenseurs. Les écluses robustes en maçonneries, qui

comportent moins de parties exposées à être attaquées par la rouille, etc., semblent donc toujours préférables aux ascenseurs mécaniques en général, et en particulier à plusieurs types spéciaux d'ascenseurs.

Tous les calculs et toutes les évaluations faites jusqu'ici, et dont nous n'avons produit qu'une petite partie, ainsi que la question relative à la réglementation de l'aquiculture de la Moravie, nous font espérer que *le canal du Danube à l'Oder sera un canal à écluses avec le minimum de biefs possible.*

Conclusions finales

1. Les ascenseurs que comporte le tracé d'un canal, doivent présenter au point de vue de la régularité de l'exploitation une *capacité de rendement* autant que possible uniforme.

2. La question de savoir quel est le type d'ascenseur, auquel la préférence doit être accordée, pour un canal, ne peut être résolue que par une étude comparative relative à *toute la longueur du canal* et non à un point déterminé seulement de celui-ci et ce au triple point de vue de l'intensité du trafic, du mode d'exploitation et de la totalité des frais.

3. *L'écluse à sas* qui répond à l'intensité du trafic à laquelle on s'attend, est et reste *le moyen le plus avantageux, le plus sûr, de rendement maximum, le moins coûteux et le plus économique pour vaincre même une hauteur de chute d'une certaine importance* dans le tracé d'un canal, en tant que l'eau d'alimentation puisse être fournie au bief de partage sans dépense considérable.

4. En cas de pénurie d'eau, *l'ascenseur à sas mobiles à pistons plongeurs* constitue sous le rapport de la capacité du rendement un moyen aussi avantageux que l'écluse à sas.

Brünn, le 22 Mars, 1904.

ANTONIN SMRCEK.

ASSOCIATION INTERNATIONALE PERMANENTE

DES

CONGRÈS DE NAVIGATION

X^e CONGRÈS - MILAN - 1905

I. Section : Navigation Intérieure

3. Question

RAPPORT

PAR

A. SMRCEK

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

ASSOCIATION INTERNATIONALE PERMANENTE

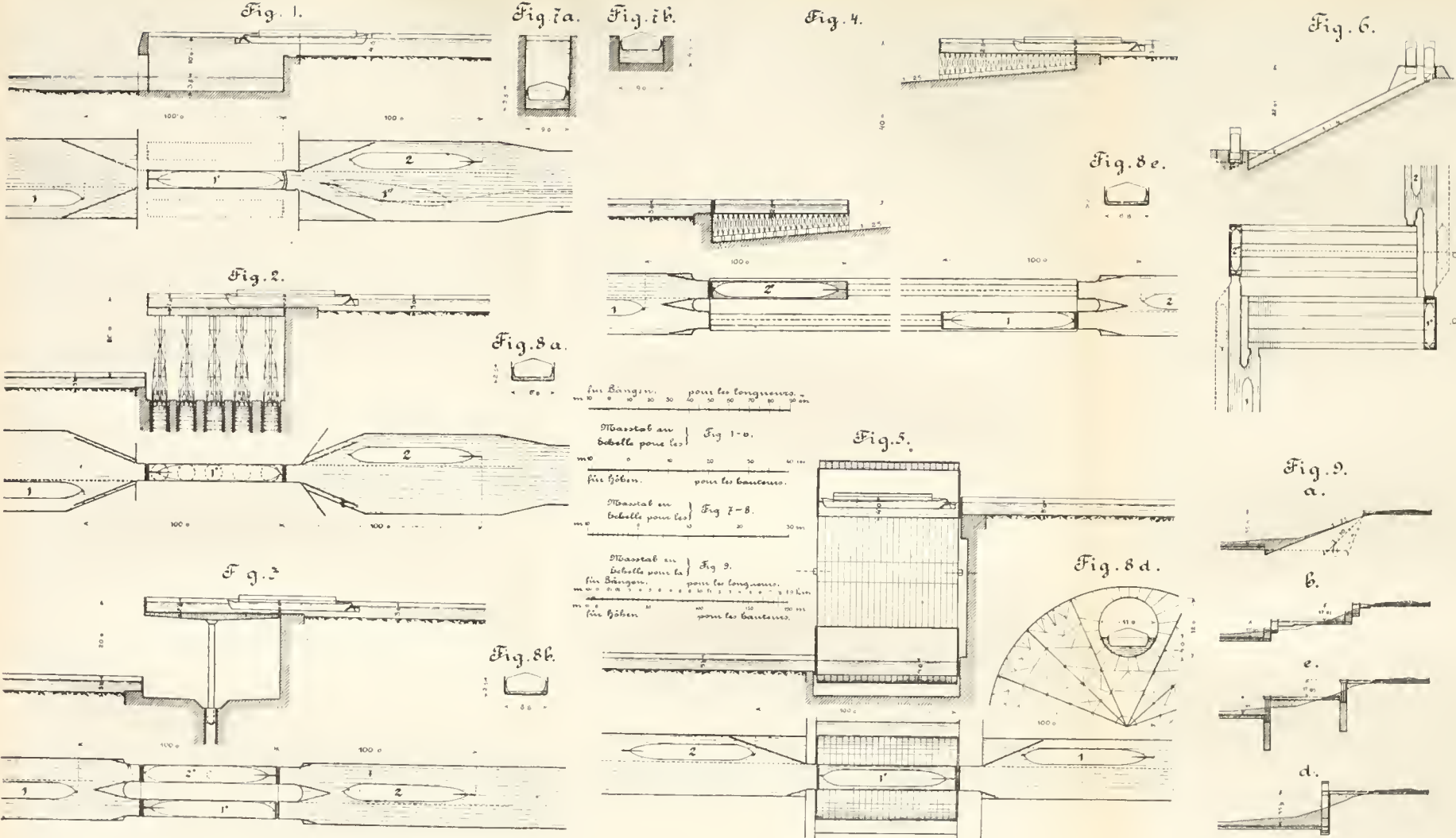
CONGRÈS DE NAVIGATION

X^e CONGRÈS - MILAN - 1903

1. Section : Navigation Intérieure
3. Question

RAPPORT

PAR
A. SMRCEK



PERMANENT INTERNATIONAL ASSOCIATION
OF
NAVIGATION CONGRESSES

X. CONGRESS - MILAN - 1905

I. Section : Inland Navigation
3. Question

INVESTIGATION OF THE METHODS BEST SUITED
FOR
Surmounting great Differences of Level
BETWEEN THE REACHES OF CANALS

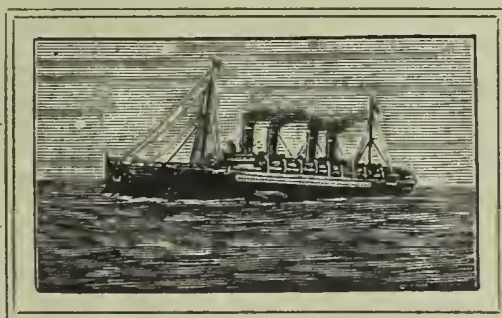
REPORT

BY

H. GENARD

Chief Engineer, Director of the Ponts et Chaussées at Brussels

NAVIGARE



NECESSE

BRUSSELS
PRINTING OFFICE OF THE PUBLIC WORKS (CO. LTD.)
18, Rue des Trois-Têtes, 18

1905

STUDY
OF THE
SYSTEMS SUITED TO OVERCOMING HIGH LIFTS
BETWEEN CANAL LEVELS

VERTICAL LIFTS OR INCLINED PLANES

REPORT

BY

H. GENARD

Chief Engineer, Director of the Ponts et Chaussées at Brussels

When the question of using mechanical means for overcoming high lifts between the levels of canals was examined by the first International Inland Navigation Congress in 1885, it caused a conclusion to be voted, of which the most important part, that relating to the choice to be made between vertical lifts and inclined planes for boats, is quoted below.

« The question of knowing whether it is well to
» resort to mechanical means is only to be considered if it be
» necessary to overcome a rather high and abrupt fall. Mecha-
» nical means may give a satisfactory solution in this case, es-
» pecially if the difficulty of a water supply for the canal is to
» be added to the height of the lift to be overcome.

» Still, resort to mechanical means should be had only with
» a great deal of caution, for the following reasons : —

» *a)* mechanical means have not yet stood the test, at least
» for boats of 250 to 300 tons ;

» *b)* difficulties of construction, especially for lifts, seem to
» have reached the limit of the methods at present at the com-
» mand of industry. This being so, *inclined planes* seem pre-
» ferable, and it would be interesting to see them applied for
» boats of 250 to 300 tons. »

If this conclusion is to be judged rightly to-day, it is necessary to recall the special ideas which inspired it, and to bear in mind what, at the time of this Congress, was the condition of the question, in the matter of the use of mechanical means for overcoming the high lifts of canals.

In the matter of inclined planes, several already old applications were known.

Not to mention these built long ago in Holland and on the Ketley and Shropshire canals in England, the former for mere smacks and the latter for small boats carrying not more than 5 to 8 tons, there may be considered :

- a) the inclined planes of the Morris Canal (United States) ;
- b) the inclined planes of the Prussian Oberland ;
- c) the inclined plane at Blackhill on the Monkland Canal in England ;
- d) the inclined plane at Georgetown on the Chesapeake and Ohio Canal in the United States of America.

The inclined planes of the Morris Canal were used only for passing boats which could carry a maximum load of not more than 28 tons ; those of the Prussian Oberland, already larger, had been built for boats able to carry as much as 70 tons. The Blackhill inclined plane was only used to pass empty boats 21.35 m. long, 4.12 m. wide, drawing 0.55 m. Finally, the Georgetown inclined plane was used for boats whose load might reach 115 tons, but such boats could only go through by grounding in the tank.

So far as the application of vertical lifts to passing boats from one level of a canal to another was concerned, there was at this time but one example worthy of the name. It was at Anderton (Cheshire, England), and connected the River Weaver at the Trent canal to the Mersey. It was used for boats carrying a load of 100 tons. There was, to be sure, another on the Great Western canal, but it was of no importance, as it was only used for boats of not more than 8 tons.

The Anderton lift, of the hydraulic type, was possessed of a certain importance, not merely for the tonnage of the boats it could pass, but also for the height of the lift overcome by this apparatus, a height reaching 15.30 m.

Compared with the dimensions proposed then for lifts projected at that time on various Belgian and French navigation routes, these of the tank of the Anderton lift were still, however, very small. These tanks were, indeed, only 22.85 m long, 4.73 m. wide, and 1.37 m. minimum depth of water.

Moreover, two special conditions led the Congress of 1885 to be very circumspect in regard to the conclusions which it was to utter on the subject of the eventual use of lifts to overcome great differences of level in the canals of the types used for inland navigation in Belgium and France, and they explain

the preference shown by the Congress for inclined planes rather than for lifts. The first was the result of the accident which happened to the Anderton lift, a little while before the opening of the Congress ; the second was the many attempts, several of which were rather discouraging, which had just been made in France to find presses which would be perfectly safe for the lift then projected for that country. After the Anderton accident, which showed how unsafe were cast-iron presses of large size, such presses were given up both in France and Belgium, although they had been specified for the Fontinettes and Louvière lifts, the construction of which had been decided on in these two countries, the first for boats of 300 tons, the second for boats carrying as much as 360 tons.

The failure of presses of steel cast without a flaw, noted at the tests made at the Terre-noire factories in July 1883 for the presses intended for the Fontinettes lift, had only redoubled apprehensions as to whether industry was then in a condition to furnish presses sufficiently strong to insure the entire safety of the proposed applications.

These apprehensions were further strengthened by the failures of tests again made, a little later, in France on sections of presses made of welded sheet iron and steel, and of rivetted sheets of steel.

The Société Cail and Co. showed in October 1884, however, by tests made in its Paris factories, that a great degree of safety could be obtained, for the type of lift proposed at Fontinettes, by using a press having its barrel made of a series of rings of steel rolled without any weld, piled one on the other, holding inside a copper sleeve to insure the perfect water-tightness of this barrel.

Tests made in Belgium at about the same time (May 30., 1884), at the factory of the Cockerill Society, had also shown that tightness could be insured for the lifts projected for the Central Canal, for 360-ton boats. This was done by making the barrel of the large presses, each intended to carry a tank, of several cast-iron sections wrapped continuously by means of steel bands, also rolled without welds like the tires of locomotive and car wheels.

Still, these systems of presses had not yet been applied at the time of the first Navigation Congress, and the great sanction of experience was yet lacking for the ability to formulate conclusions touching the results which might be given by the construction of lifts, of which these presses were the principal part, on

canals where their establishment had been recognized as useful or indispensable. The Fontinettes lift was only finished, as a matter of fact, in November 1887, and the Louvière lift was not ready for work until June 1888.

The conclusions which might have been reached at that time about the working of hydraulic lifts, would have been, therefore, premature.

This Congress did not hesitate, therefore, to show its preference for inclined planes, rather than for hydraulic lifts, in the application of mechanical means intended to overcome high lifts on canals furnishing navigation to boats of more than 250 tons.

It will now be shown that the applications which have been made of apparatus of this sort do not seem to have justified this preference.

These machines may be divided into two classes : —

- a) inclined elevators or inclined planes ;
- b) vertical elevators or lifts.

Application of Inclined Planes for Boats.

The number of projects for overcoming high lifts on canals by means of inclined planes presented since the completion of the Anderton lift is large.

The following projects, which it is believed should be mentioned among those that have been studied very thoroughly, give an idea of the importance of the plants projected and of the various principles applied in their conception : —

1° The project of MM. L. Gonin and Huc Mazelet, to replace seven locks on the Central Canal (France) with a pipe for hydraulic propulsion ;

2° The project of Mr. Peslin and the *Société anonyme des anciens Etablissements Cail*, Paris, with a tank, of several sections juxtaposed, for the lift of 15,397 m., which was to be obtained at La Louvière (Belgium), on the Central Canal, a lift which has been overcome, since this project was presented, by a hydraulic lift ;

3° The projects for overcoming the high drop of 41 metres, by the Saône, of the canal from the Marne to the Saône (France), viz : —

a) Project of Mr. Burret and the Creusot factory, including two inclined planes with a double tank mounted on wheels ;

b) Projects of MM. Thomasset, Vollot & Co ;
the first comprising two tanks supported on sliding shoes ; the second comprising one tank, also on sliding shoes, but hauled by locomotives ;

4° Project by Mr. Peslin for the canal from the Danube to the Oder, for boats of 600 tons ;

5° Project of MM. Daniel and Lueg, for the canal from the Danube to the Moldau and the canal from Schwerin to Wismar (also for boats of 600 tons) ;

6° The project of Mr. Th. Hoech and the Five United Construction Factories of Bohemia, for the Danube-Moldau canal, as well as the project worked out by these factories for an application of the Schönbach system ;

7° The project of MM. Daydé and Pillé, for boats of 800 tons, and finally,

8° The project for an inclined plane called the Thomas lift with scows, at Foxton (Leicester, England), on one of the navigable routes of the Grand Junction Canal Co.

A fact to be noticed here is that, save the last, none of the projects was ever carried out. Hence, since the Anderton lift was built, only one new application of an inclined plane has been made of to the present time, and the size of the boats which pass through it is still less than that of the boats passing the inclined plane built more than thirty years ago at Georgetown.

Absolutely no advance has been made in inclined planes, either in the height of the lift overcome or in the tonnage of the boats passed. It must be noted however that the Foxton inclined plane marks one very great advance over the old planes already mentioned, viz., that by the movement of the tanks sideways, boats floating therein can be passed easily, quickly and with perfect safety. This was pointed out very picturesquely by Mr. Sauer, in a report presented to the IXth. Navigation Congress at Düsseldorf : « The sideways movement of the » tank, after the fashion of crabs, prevents all oscillation of the » water carried. »

But applied to large tanks, the disadvantage of the system of translation used at Foxton is, if the tanks are mounted on wheels, the setting of a large number of tracks for their support and to permit their rolling. As these tracks must be very firm, their construction, save in exceptional cases when they can be laid on very solid ground, would be probably very ex-

pensive as would be also their maintenance, especially if the difference of level to be overcome by the inclined plan were great

Be this as it may, the fact remains that, so far, inclined planes have never been applied to boats of more than 100 tons and that, consequently, there is still lacking, at the present time, to support their application to boats of large tonnage, any practical experience which might have been had, if an apparatus of this sort had been applied at once to raising boats of 300 to 350 tons over great differences of level, as has been done with hydraulic lifts.

Application of vertical Elevators for Boats.

Since the Anderton lift began its work, a very large number of vertical elevators have been projected for various French, Belgian, German, Italian, American and Canadian navigable highways. Seven of these are either built or under construction, and four of them have been working perfectly for several years, thus giving the practical experience which was lacking for the first Navigation Congress, and this want made it impossible for the Congress to give utterance to well grounded conclusions as to the choice to be made between the use of inclined planes and that of lifts in overcoming great differences of level on canals.

Projects prepared for the application of lifts, although not carried out, may well be mentioned, however, because they show that engineers of great worth and mechanical construction companies of the first class have not been afraid to undertake the application of vertical elevators not only to boats of 300 tons and a great deal over, but even for the largest sea-going vessels, and also to overcoming very high lifts.

The following projects will be mentioned among these which show best the many principles which have been proposed for application in establishing lifts for boats : —

1° The project for two hydraulic lifts having a single press for each tank, with a lift of 20 metres, prepared by Mr. Clark, and Mr. Kraft, Chief Engineer of the Cockerill Society at Seraing (Belgium), for crossing the summit level of the canal from Charleroi to Brussels (Belgium), May 1880 :

2° The project for two lifts on floats, 20 metres high, prepared by Mr. Seyrig for the same object, May 1880 :

3° The project for a double tank hydraulic lift, with several supporting presses for each tank, prepared by Mr. Duer, for the Neuffossé canal at Fontinettes, France, April 1880 ;

4° The projects prepared by MM. Clark, Standfield and Clark, for the canal from the Marne to the Saône, at Heuilly-Cotton, France, with longitudinally conjugate tanks, the tanks being borne by one press in the first project, and by two presses in the second, April, 1882 ;

5° The project prepared by Mr. Clark for the Tornato canal at Milan, Italy, involving a tank supported by a single press ;

6° The project prepared by Mr. Rozat de Mandres, for the canal proposed from the Garonne to the Upper Loire ;

7° The project for the Lockport and Cohoes lifts (United States), on the Erie canal, for boats of 1,350 tons, prepared by Mr. Chancey N. Dulton of Yonkers, based on the principle of the diving bell, to overcome lifts reaching about 43 metres (144 feet) ;

8° Various projects presented at the competition opened by the Minister of Public Works of France for the descent to the Saône (1892) : —

a) Mr. Clark's hydraulic lifts ;

b) Mr. Seyrig's lifts on floats ;

c) funicular lifts by Mr. Barret of the Creusot works ;

d) MM. Leslie's funicular lift ;

9° Project for a hydraulic lift, Clark's system, to be applied on the Panama canal, with 50 metres difference of level, prepared jointly with M. Léon Boyer, Engineer of the *Ponts et Chaussées*, and Mr. Barbet, Chief Engineer of the Cail Society, France.

But, passing from the field of conception to that of application, it is easy to see that the preference has been given generally to hydraulic lifts of the Anderton system, that is, the system where each tank is borne by a single press.

The Henrichenburg lift alone, projected and carried out by the German government on the Dortmund-Ems canal, was built on another system. Its single tank rests on floats which are always under water as in the lifts projected by Mr. Seyrig.

MM. Genard, Chief Engineer, and Denil, Principal Engineer, expressed their opinion as to the practical value of this lift in the *Annales des Travaux publics de Belgique* for October 1904. They recognized its merits and noted that it did the greatest honor to the engineers who conceived it, and to German indus-

try, especially the house of Daniel and Lueg, of Düsseldorf, which carried it out.

Nevertheless they think that this lift will not be imitated or reproduced. They say : —

« The Henrichenburg lift is a highly precise piece of mechanism, requiring working adjustment at all times of day according to the changes in the water surface of the levels, changes which depend, at times, on the direction and velocity of the prevailing wind. The mere action of the wind, especially in the short down stream outer basin, may cause a change of level of 0.14 m., by reason of the excavations which facilitate this action.

» Such machinery can be handled only by picked men, thoroughly alive to the responsibilities which they undertake. The essential condition of simplicity, which must be satisfied by all apparatus of any kind which is to be used for navigation, is, therefore, not fulfilled by the Henrichenburg lift, as it is by the hydraulic lifts of the Clark system, built in France and Belgium.

» Another point, which should also be pointed out, is that, in order to obtain a perfect balance of all the floating parts as well as to prevent the floats from swinging, it was necessary to add 6 tons to each of the latter ; in fact, these floats are not guided in the wells and it is not seen clearly how they can be.

» The floating whole, formed by the tank and its framework on the one hand, and the floats on the other, is suspended from four nuts of screws situated in a plane about 27 metres above the lower cover of the floats. Theoretically, this horizontal plane cannot lose its shape, but it can be conceived that the slightest deviation during a quite rapid upward movement, as the ascent lasts only 2 1/2 minutes, can produce a swing which, in spite of all precautions taken, must fatigue the screws and communicate dangerous vibrations to the entire system. The enormous inertia of this insufficiently guided mass amplifies, moreover, the vibrations of the whole of the floating system. It seems scarcely possible to remedy this condition of things which must be considered as a characteristic of the floating lift. »

The following table, which contains the main data of the hydraulic lifts built or building, suffices to show the advance realized in the application, of these lifts to canals.

Name of the hydraulic lift	Height of lift overcome	Dimensions of the Tanks			Tonnage of the boats or load	Diameter of the piston supporting the tank	Observations
		Length	Breadth	Least depth of water			
	m.	m.	m.	m.	tons	m.	
Anderton . . .	15.35	22.85	4.73	1.37	100	0.91	Began work in 1874
Fontinettes . .	13.13	40.35	5.60	2.10	280	2.00	Began work April 20, 1888.
La Louvière . .	15.397	43.00	5.80	2.40	360	2.00	Working since June 29, 1888.
N ^{os} 2, 3 and 4 of the Central canal, (Belgium). . .	16.937	43.00	5.80	2.40	360	2.00	In building.
Peterborough, (Cana- da)	19.81	42.67	10.06	2.44	800	2.286	Working since July 9, 1904.

The administration of the Trent Canal, Canada, thoroughly satisfied with the results obtained by the lift built at Peterborough, is projecting a second of the same size, but the lift will be only about 15 metres.

MM. Genard and Denil pointed out briefly the perfections to be sought in the new hydraulic lifts, in the report above mentioned which was presented to the IXth. Navigation Congress. The object of these improvements is to simplify the lifts and so to build them that they can serve their end, that they can be maintained easily and at small cost, without there being any need of minute precautions in handling them.

Can the same results be obtained with inclined planes for large boats, overcoming great differences of level? We do not think so.

Undoubtedly it would be rash to say that the projects for inclined planes, which have appeared up to now, applicable to boats of more than 300 tons, are not susceptible of further improvement. But be the latter what they may, it does seem that vertical elevators, and especially hydraulic lifts, will have always over inclined planes the merits of simplicity, facility and quickness of working, and, finally, economy of maintenance.

A hydraulic lift of the type of those used in England, France, Belgium and Canada has, as a matter of fact, only two essential parts: the tank and the supporting presses, at the rate of a single press to a tank.

Any inclined plane will have always a larger number, viz :—

a) the supporting or the running way or ways of the tank, according as the latter move endways or sideways ;

b) the many parts for running or supporting the tanks on these ways, according as they are mounted on wheels or rollers, or slide on shoes ;

c) the extremely important parts, which form the connection between the balanced tanks (cables, chains, pneumatic or hydraulic pipes, etc., etc.), or else machines producing or utilizing motive power to make the locks self-movers, so to speak.

As to the tanks proper, their gates and the apparatus for working them, and the gates which close the upper and lower levels, the arrangement for obtaining water tight joints at the heads of these levels, all these parts may be considered the same in vertical elevators and in inclined planes.

The mere enumeration of the parts necessary for inclined planes, not found in lifts, suffices, it is believed, to show that, be done what may, these parts will possess always more complications and weak points than the single, plain press which serves to support and to move each tank of a hydraulic lift. Hence, this enumeration suffices also, it would seem, to justify the preference which will be given generally to vertical lifts over inclined planes, for great differences of level in canals used for the navigation of boats of heavy tonnage.

This preference has been justified in Belgium for reasons which are the outcome of what has been related in these pages. The project of an inclined plane presented for overcoming the lift of 15,397 m. on the Central canal, at La Louvière, had to be set aside because it contained an enormous number of mechanical complications, very many delicate moving parts, and because it would have involved an onerous cost of maintenance and constant watching while offering less security than a hydraulic lift.

The projects for inclined planes presented in France at a competition called by the Minister of Public Works, to study mechanical contrivances suited to overcoming a lift of 41 metres to be found on the Marne-Saône canal, met with the same fate. And this fate befell them, not only for the same reasons (1), but also, for one of the projects involving two tanks, supported by sliding shoes, because it supposed velocities of translation of 4 metres per second, velocities wholly inadmissible to secure the safety of passage of the boats floating in the tanks, and

(1) See the work of Mr G. Cadart, Chief Engineer of the Ponts et Chaussées, *Ascenseurs, plans inclinés et écluses pour le rachat des grandes chutes des canaux*. Paris, librairie polytechnique Boudy et C°, publisher, 1898.

further, because it would have required, for admissible velocities of translation, an extremely large water supply.

Finally, another project, involving a single tank supported by sliding shoes and drawn by locomotives, had to be set aside, first because it was not sufficiently worked out, and then because it was found that its manœuvre would require 2 1/2 hours and heavy traction cost, and, still further, because, if changes could be made to overcome these defects, these changes would result in the bad conditions mentioned before, which were alone sufficient to cause the project to be rejected.

The conviction springs from the study of the projects just mentioned, and from all those, so far known, which look toward the use of inclined planes, that these planes, even admitting, what is not yet proved, that they can insure a quick and safe passage for heavy boats floating in tanks and that the great loads involved can be distributed under practically satisfactory conditions, will always be machines containing many movable parts, more or less complicated and expensive to maintain. They will always require very close watching if they are to be kept in good working order.

Will the results of the competition organized at Vienna, with the view of seeking the best project for carrying boats over the Prerau (Moldavia) fall of 35.90 m. on the Danube-Oder canal (1), be able to change the views just expressed on this subject? No opinion can be ventured on this point.

It has been learned that among the many projects of mechanical applications presented at this competition, one involving two parallel inclined planes of medium slope, with racks and electric tractors, had been classed first. Unfortunately, no knowledge of the details of this project has been so far available, so that nothing justifies any change in the opinion above given as to the inferiority of inclined planes as compared with vertical elevators and, especially, with hydraulic lifts.

Considering what is known about the different systems vaunted until lately for raising boats over great differences of level, the author is led to think that, for all the special cases pointed out in the resolutions passed by the IXth. International Navigation Congress at Düsseldorf, hydraulic lifts seem destined to give the best practical solution.

Brussels, December 15, 1904.

H. GENARD.

(1) *Génie civil*, vol. XLVI, n° 2 (November 12, 1904), p. 32.

627.06
INR
1905

ASSOCIATION INTERNATIONALE PERMANENTE
DES
CONGRÈS DE NAVIGATION

X^e CONGRÈS - MILAN - 1905

I. Section : Navigation Intérieure
3. Question

ETUDE

DES

Systèmes propres à racheter les grandes Chutes
ENTRE LES BIEFS DE CANAUX

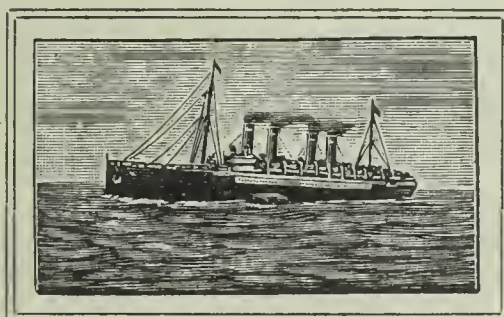
RAPPORT

PAR

M. H. GENARD

Ingénieur en Chef, Directeur des Ponts et Chaussées à Bruxelles

NAVIGARE



NECESSE

BRUXELLES

IMPRIMERIE DES TRAVAUX PUBLICS (SOCIÉTÉ ANONYME)
18, Rue des Trois-Têtes, 18

1905

É T U D E

DES

Systèmes propres à racheter les grandes chutes entre les biefs des canaux

ASCENSEURS VERTICAUX OU PLANS INCLINÉS

RAPPORT

PAR

H. GENARD

Ingénieur en Chef, Directeur des Ponts et Chaussées à Bruxelles (Belgique)

Lorsqu'en 1885, la question de l'emploi des engins mécaniques pour racheter les grandes chutes entre les biefs des canaux fut examinée par le premier Congrès international de navigation intérieure, elle donna lieu au vote d'une conclusion, dont nous reproduisons ci-après la partie la plus importante, pour ce qui concerne le choix à faire entre les ascenseurs verticaux et les plans inclinés pour bateaux.

« La question de savoir s'il convient de recourir aux engins
» mécaniques n'est à envisager que s'il est nécessaire de racheter
» une chute brusque, considérable. Dans ce cas, les moyens
» mécaniques peuvent fournir une solution satisfaisante, sur-
» tout si, à la hauteur de la chute à racheter, s'ajoute la difficulté
» d'alimentation du canal.

» Cependant, il y a lieu de ne recourir aux moyens mécani-
» ques qu'avec beaucoup de réserve, pour les motifs suivants :

» *a)* les engins mécaniques n'ont pas encore fait leurs preuves,
» au moins pour des bateaux de 250 à 300 tonnes ;

» *b)* dans les ascenseurs notamment, les difficultés de con-
» struction paraissent atteindre la limite des moyens dont dis-
» pose l'industrie actuellement. A ce titre, les *plans inclinés*
» paraissent préférables, et il serait intéressant d'en voir faire
» l'application pour des bateaux de 250 à 300 tonnes. »

Si l'on veut aujourd'hui apprécier cette conclusion, il est nécessaire de rappeler l'ordre d'idées qui l'avait inspirée et, à cet effet, il faut se remémorer quel était, à l'époque de ce Congrès, l'état de la question de l'emploi d'engins mécaniques pour racheter les hautes chutes des canaux.

En fait de plans inclinés, on en comptait plusieurs applications déjà anciennes.

Sans nous arrêter à celles qui en avaient été faites depuis très longtemps en Hollande et sur les canaux de Ketley et du Shropshire (Angleterre), les premiers pour simples barques et les autres pour petits bateaux ne prenant pas plus de 5 à 8 tonnes de chargement, nous citons :

- a)* les plans inclinés du canal Moris (Amérique) :
- b)* les plans inclinés de l'Oberland prussien :
- c)* le plan incliné de Blackhill sur le canal de Monkland, en Angleterre ;
- d)* le plan incliné de Georgetown, sur le canal de Chesapeake à l'Ohio, aux Etats-Unis d'Amérique.

Les plans inclinés du canal Moris ne servaient qu'au passage de bateaux ne pouvant prendre qu'un chargement maximum de 28 tonnes, ceux de l'Oberland prussien, déjà plus grands, avaient été établis pour le passage de bateaux pouvant charger jusque 70 tonnes. Quant au plan incliné de Blackhill, il n'était utilisé que pour la translation, la montée et la descente de bateaux vides, ayant au maximum les dimensions suivantes : Longueur 21 m. 35, largeur 4 m. 12, enfoncement 0 m. 55. Enfin, le plan incliné de Georgetown servait au passage de bateaux dont le chargement pouvait atteindre 115 tonnes, mais ces bateaux ne pouvaient passer par cet appareil qu'en s'échouant dans les sas.

Parmi les applications d'élévateurs verticaux pour passer les bateaux d'un bief à l'autre d'un canal, on n'en comptait, à cette époque, qu'une seule digne d'être notée. Elle existait à Anderton (Cheshire, Angleterre) pour relier la rivière Weaver au canal du Trent à la Mersey et elle servait au passage de bateaux pouvant prendre un chargement de 100 tonnes. Il y en avait bien une autre sur le grand Western Canal, aussi en Angleterre, mais elle avait peu d'importance, puisqu'elle ne servait qu'au passage de bateaux ne pouvant recevoir qu'un chargement de 8 tonnes.

L'ascenseur d'Anderton, du type dit hydraulique, avait une certaine importance, non seulement par le tonnage des bateaux qui pouvaient y passer, mais encore par la hauteur de chute rachetée par cet appareil, hauteur qui atteignait 15 m. 330.

Comparées aux dimensions que l'on proposait de donner alors aux ascenseurs projetés pour diverses voies navigables belges et françaises, les dimensions des sas de l'ascenseur d'Anderton étaient cependant encore très petites. Ces sas n'avaient, en

effet, que 22 m. 85 de longueur, 4 m. 73 de largeur et 1 m. 37 de hauteur d'eau minimum.

Deux circonstances spéciales portaient, en outre, le Congrès de 1885 à se montrer très circonspect, relativement aux conclusions qu'il avait à formuler au sujet de l'emploi éventuel d'ascenseurs, pour racheter les hautes chutes des canaux des types servant à la navigation intérieure en Belgique et en France, et elles expliquent la préférence que montra ce Congrès pour les plans inclinés, plutôt que pour les ascenseurs verticaux. La première résultait de l'accident qui s'était produit à l'ascenseur d'Anderton, peu de temps avant l'ouverture de ce Congrès, la seconde, des nombreux essais, dont plusieurs peu encourageants, qui venaient d'être faits en France pour trouver des presses donnant une complète sécurité pour l'ascenseur projeté alors dans ce pays. A la suite de l'accident d'Anderton qui avait démontré le peu de sécurité que présentaient les presses en fonte de grandes dimensions, on avait renoncé, tant en France qu'en Belgique, aux presses de cette espèce, qui jusqu'alors avaient été préconisées pour les ascenseurs des Fontinettes et de La Louvière, dont la construction venait d'être décidée dans ces deux pays, le premier, pour bateaux d'environ 300 tonnes, le second, pour bateaux pouvant atteindre 360 tonnes.

L'insuccès des presses en acier coulé sans soufflure, constaté aux essais que l'on avait faits en juillet 1883 aux usines de Terre noire, pour des presses destinées à l'ascenseur des Fontinettes, n'avait fait que redoubler les appréhensions quant à la question de savoir, si l'industrie était alors en état de fournir des presses assez résistantes pour assurer la complète sécurité des applications que l'on avait en vue.

Ces appréhensions furent encore renforcées par les insuccès des essais faits encore en France, un peu plus tard, sur des tronçons de presses en tôles de fer et d'acier soudées et en tôles d'acier rivées. (4 avril 1884.)

Cependant, en octobre 1884, la Société Cail et C^{ie} montra, par des essais faits dans ses usines de Paris, que l'on pouvait obtenir une sécurité considérable, pour l'ascenseur du type projeté aux Fontinettes, par l'emploi d'une presse dont le corps était formé d'une série d'anneaux en acier laminés sans soudure, empilés les uns sur les autres, maintenant à l'intérieur une chemise en cuivre destinée à assurer l'étanchéité parfaite de cette presse.

En Belgique aussi, des essais faits à peu près à la même époque (30 mai 1884), aux usines de la Société Cockerill, avaient également démontré que l'on pouvait assurer la sécurité des

ascenseurs projetés au canal du Centre, pour bateaux de 360 tonnes, en constituant le corps des grandes presses destinées à porter chacune un sas, de plusieurs tronçons en fonte, frettés d'une façon continue au moyen de frettes en acier, également laminées sans soudure comme le sont les bandages des roues de locomotives et de wagons.

Toutefois, lors du premier Congrès de navigation, ces systèmes de presses n'avaient pas encore été appliqués et on manquait par conséquent alors de la grande sanction de l'expérience pour pouvoir formuler des conclusions visant les résultats que pouvait donner l'installation d'ascenseurs, dont ces presses constituaient la partie principale, sur des canaux où leur établissement avait été reconnu utile ou indispensable. Ce ne fut, en effet, qu'en novembre 1887, que l'ascenseur des Fontinettes fut achevé et qu'en juin 1888, que l'ascenseur de La Louvière fut mis en état de fonctionnement.

Les conclusions que l'on aurait pu formuler à cette époque, concernant l'avenir des ascenseurs hydrauliques, auraient donc été prématurées.

Ce Congrès n'hésita cependant pas à montrer ses préférences pour les plans inclinés plutôt que pour les ascenseurs hydrauliques dans les applications d'engins mécaniques destinés à racheter les hautes chutes des canaux servant à la navigation de bateaux de plus de 250 tonnes.

Comme nous allons l'établir, les applications qui ont été faites d'engins de cette espèce, ne paraissent pas avoir justifié ces préférences.

Ces engins peuvent être classés en deux catégories :

- a) les élévateurs inclinés ou plans inclinés ;
- b) les élévateurs verticaux ou ascenseurs.

Application des plans inclinés pour bateaux.

Le nombre de projets dressés depuis l'achèvement de l'ascenseur d'Anderton (1874), pour racheter les hautes chutes des canaux par des plans inclinés, est considérable.

Parmi ceux qui ont donné lieu à des études approfondies, je crois devoir citer les suivants, qui donnent une idée de l'importance des appareils projetés et des principes divers appliqués dans leur conception :

- 1^o Le projet de MM. L. Gonin et Huc Mazelet, pour remplacer

7 écluses du canal du Centre (France), avec tube de propulsion hydraulique ;

2° Le projet de M. Peslin et de la Société anonyme des anciens établissements Cail, de Paris, avec sas formé de plusieurs tronçons juxtaposés, pour la chute de 15 m. 397 que devait présenter le canal du Centre, à La Louvière (Belgique), chute qui a été rachetée depuis la présentation de ce projet, par un ascenseur hydraulique ;

3° Les projets présentés pour racheter la haute chute de 41 mètres, pour la descente, en Saône, du canal de la Marne à la Saône (France), savoir :

a) Projet de M. Burret et de l'usine du Creusot, comprenant deux plans inclinés à double sas montés sur roues ;

b) Projets de MM. Thomasset, Vollot et C^{ie}, le premier comportant deux sas supportés par des patins glissants ; le second, ne comportant qu'un seul sas, également supporté par des patins glissants, mais remorqué par des locomotives ;

4° Le projet de M. Peslin pour le canal du Danube à l'Oder, pour bateaux de 600 tonnes ;

5° Le projet de MM. Daniel et Lueg, pour le canal du Danube à la Moldau et le canal de Schwerin à Wismar (aussi pour bateaux de 600 tonnes) ;

6° Le projet de M. Th. Hoech et des cinq usines de constructions mécaniques réunies de Bohême, pour le canal du Danube à la Moldau, ainsi que le projet étudié par ces usines, pour une application du système Schönbach ;

7° Le projet de MM. Daydé et Pillé, pour bateaux de 800 tonnes, et enfin,

8° Le projet de plan incliné dit « ascenseur à chalands Thomas », de Foxton (Leicester, Angleterre), sur une des voies navigables de la Compagnie du canal de grande jonction.

Sauf ce dernier, et c'est là un fait à constater, aucun de ces projets n'a été exécuté. Comme application nouvelle de plan incliné, depuis que fut construit l'ascenseur d'Anderton, il n'y en a donc actuellement qu'une seule et les dimensions des bateaux auxquels elle livre passage sont encore moindres que celles des bateaux passant par le plan incliné établi, depuis plus de trente ans, à Georgetown.

Au point de vue de la hauteur des chutes rachetées et du tonnage des bateaux éclusés, les progrès dans les plans inclinés sont nuls. On doit cependant constater que le plan incliné de Foxton en réalise un très grand sur les anciens plans inclinés

cités précédemment, puisque par le système de translation transversale des sas, y appliqué, on est parvenu à faire passer avec facilité, rapidité, et en parfaite sécurité, les bateaux flottants dans les sas de cet appareil. C'est ce qu'indiquait d'une façon pittoresque M. Saner, dans un rapport qu'il présentait au IX^e Congrès de navigation, à Dusseldorf : « La marche des » sas par le flanc, disait-il, à l'instar des crabes, empêche, en » effet, toute oscillation de l'eau véhiculée. »

Mais appliqué à des sas de grandes dimensions, le système de translation employé à Foxton aurait pour inconvénient, si les sas étaient montés sur roues, l'installation d'un grand nombre de voies de support et de roulement de ces sas. Comme ces voies doivent avoir une grande stabilité, leur établissement, sauf les cas exceptionnels où elles pourraient être placées sur un sol très résistant, donnerait probablement lieu à des dépenses considérables, aussi bien pour leur construction que pour leur entretien, surtout si le plan incliné devait racheter une grande différence de niveau.

Quoi qu'il en soit, on doit reconnaître que, jusqu'ici, il n'a été fait aucune application de plans inclinés pour bateaux de plus de 100 tonnes et que, par conséquent, on manque encore, à l'heure actuelle, pour en appuyer l'application à des bateaux de fort tonnage, de l'expérience pratique que l'on aurait pu avoir, si un appareil de ce genre, à l'instar de ce qui a été fait pour les ascenseurs hydrauliques, avait d'abord été appliqué pour faire franchir une grande chute à des bateaux de 300 à 350 tonnes.

Application des élévateurs verticaux pour bateaux.

Depuis la mise en service de l'ascenseur d'Anderton, un très grand nombre d'ascenseurs verticaux ont aussi été projetés pour être appliqués à diverses voies navigables françaises, belges, allemandes, italiennes, américaines et canadiennes. Sept de ces appareils ont même été exécutés ou sont en voie de construction, et déjà quatre d'entre eux fonctionnent, depuis un grand nombre d'années, de la façon la plus parfaite, en réalisant, par le fait même, l'expérience pratique qui faisait défaut lors du premier Congrès de navigation, pour pouvoir émettre des conclusions fondées en ce qui concerne le choix à faire entre les plans inclinés et les élévateurs à appliquer pour racheter les hautes chutes des canaux.

Les projets dressés pour l'application d'ascenseurs verticaux,

bien que non exécutés, sont toutefois utiles à citer parce qu'ils montrent que des ingénieurs de grand mérite et des sociétés de constructions mécaniques de premier ordre, n'ont pas craint de s'engager dans l'application d'ascenseurs verticaux, non seulement pour bateaux de 300 tonnes et d'un tonnage bien plus important, mais encore pour les plus grands navires de mer, et aussi pour racheter de très hautes chutes.

Nous citerons, parmi eux, les projets suivants, qui montrent bien la multiplicité des principes dont on a déjà proposé l'application, pour l'établissement d'élévateurs verticaux pour bateaux :

1° Le projet de deux ascenseurs hydrauliques à une presse par sas, de 20 mètres de chute, dressé par M. Clark et M. Kraft, Ingénieur en chef de la Société Cockerill de Seraing (Belgique), pour la traversée de la crête de partage du canal de Charleroi à Bruxelles (Belgique) (mai 1880) ;

2° Le projet de deux ascenseurs sur flotteurs, de 20 mètres de chute, dressé par M. Seyrig dans le même but (mai 1880) ;

3° Le projet d'ascenseur hydraulique à double sas, avec plusieurs presses de support par sas, dressé par M. Duer pour le canal de Neuffossé, aux Fontinettes (France) (avril 1880) ;

4° Les projets dressés par MM. Clark, Standfield et Clark, pour le canal de la Marne à la Saône, à Heuilley-Cotton (France), avec sas conjugués dans le sens longitudinal, le premier projet avec sas supportés chacun par une presse, le second, avec sas supportés par deux presses (avril 1882) ;

5° Le projet dressé par M. Clark pour le canal de Tornato à Milan (Italie), comportant un ascenseur à sas supporté par une seule presse ;

6° Le projet dressé par M. Rozat de Mandres, pour le canal projeté de la Garonne à la Loire supérieure ;

7° Le projet des ascenseurs de Lockport et de Cohoes (Amérique), pour le canal de l'Erié et pour bateaux de 1,350 tonnes, projet dressé par M. Chancey N. Dulton de Jonkers, basé sur le principe de la cloche à plongeurs, pour racheter des chutes allant jusque 43 mètres environ (144 pieds) ;

8° Projets divers présentés au concours ouvert par le Ministre des Travaux publics de France pour la descente en Saône, du canal de la Marne à la Saône (1892) :

a) ascenseurs hydrauliques de M. Clark ;

b) ascenseurs sur flotteurs de M. Seyryg ;

c) ascenseurs funiculaires de M. Barret, de l'usine du Creusot ;

d) ascenseurs funiculaires de MM. Leslie ;

9° Projet d'ascenseur hydraulique du système Clark, dressé pour être appliqué au canal de Panama, à des chutes de 50 mètres, avec la collaboration de M. Léon Boyer, Ingénieur des Ponts et Chaussées, et de M. Barbet, Ingénieur en chef de la Société Cail (France).

Mais, si du domaine des conceptions, nous passons à celui de l'application, il est facile de constater que les préférences se sont surtout portées sur les ascenseurs hydrauliques du système d'Anderton, c'est-à-dire du système où chaque sas est supporté par une seule presse.

Seul, l'ascenseur d'Henrichenburg, projeté et exécuté par le Gouvernement allemand, au canal de Dortmund à l'Ems, a été construit d'après un autre système. Le sas unique y repose, en effet, sur flotteurs constamment immergés comme dans les ascenseurs projetés par M. Seyrig.

Dans une note que nous avons publiée, en collaboration avec M. l'Ingénieur principal Denil, en octobre 1904, aux *Annales des Travaux publics de Belgique*, nous avons déjà formulé notre opinion sur la valeur pratique de cet ascenseur. Nous avons alors reconnu ses mérites et constaté qu'il faisait le plus grand honneur aux Ingénieurs qui l'ont conçu, et à l'Industrie allemande, et notamment à la maison Daniel et Lueg, de Dusseldorf, qui l'a réalisé.

Néanmoins, nous ne pensons pas que cet élévateur sera imité ou reproduit.

« L'élévateur d'Henrichenburg est, disons-nous dans cette
» note, un appareil de haute précision, réclamant des réglages
» de manœuvre à tous les moments de la journée, suivant les
» moindres variations des niveaux des biefs, variations qui,
» parfois, dépendent seulement de la direction et de la vitesse
» du vent dominant. Rien que l'action du vent, surtout dans le
» court avant-port d'aval, peut produire une dénivellation de
» 0 m. 14, à cause de la présence des tranchees, qui facilitent
» cette action.

» Un tel appareil ne peut être conduit que par un personnel
» de choix, conscient des responsabilités qu'il encourt. La con-
» dition essentielle de rusticité à laquelle doivent satisfaire tous
» les appareils quels qu'ils soient, qui peuvent servir à l'usage
» de la navigation, n'est donc pas remplie par l'ascenseur de Hen-
» richenburg comme elle l'est aux ascenseurs hydrauliques du
» système Clark, construits en France et en Belgique.

» Un autre point, qui mérite encore d'être signalé, c'est qu'il
» a fallu, tant pour réaliser un parfait équilibre de l'ensemble

» flottant que pour contrarier le balancement des flotteurs,
 » ajouter un lest supplémentaire en fonte de 6 tonnes à chacun
 » de ceux-ci ; les flotteurs ne sont pas, en effet, guidés dans les
 » puits et l'on ne voit pas bien, d'ailleurs, comment ils pour-
 » raient l'être. »

» L'ensemble flottant constitué par le sas et sa charpente de
 » support, d'une part, et les flotteurs, d'autre part, est suspendu
 » aux quatre écrous des vis situés dans un plan qui se trouve à
 » 27 mètres environ au-dessus du couvercle inférieur des flot-
 » teurs. Ce plan horizontal est théoriquement indéformable,
 » mais on conçoit que la moindre déviation pendant un mouve-
 » ment d'ascension assez rapide, puisque la montée dure seule-
 » ment 2 1/2 minutes, puisse produire des balancements qui,
 » malgré toutes les précautions prises, doivent fatiguer les vis
 » et communiquer à l'ensemble du système des vibrations dan-
 » gereuses. L'inertie énorme de cette masse insuffisamment
 » guidée, amplifie, au surplus, les vibrations du système flot-
 » tant tout entier. Il ne paraît guère possible de remédier à cet
 » état de choses que l'on doit considérer comme une caracté-
 » ristique de l'ascenseur flottant. »

Le tableau ci-après, qui contient les données principales des ascenseurs hydrauliques existant ou en voie de construction, suffit pour montrer les progrès réalisés dans l'application qui a été faite, jusqu'ici, des élévateurs de ce système, aux canaux.

Désignation des ascenseurs hydrauliques	Hauteur de chute ratchetée	Dimensions des sas			Tonnages des bateaux ou chargement	Diamètre du piston d'une presse de support de sas	Observations
		Longueur	Largeur	Hauteur minimum d'eau			
	m.	m.	m.	m.	tonnes	m.	
Anderton . . .	15.35	22.85	4.73	1.37	100	0.91	Mis en service en 1874.
Fontinettes . .	13.13	40.35	5.60	2.10	280	2.00	Mis en service le 20 avril 1888
La Louvière . .	15.397	43.00	5.80	2.40	360	2.00	En fonctionne- ment depuis le 29 juin 1888.
N ^{os} 2, 3 et 4 du canal du Centre (Belgique) . .	16.937	43.00	5.80	2.40	360	2.00	En construction
Peterborough(Ca- nada)	19.81	42.67	10.06	2.44	800	2.286	En fonctionne- ment depuis le 9 juillet 1904.

L'administration du Trent Canal (Canada), satisfaite, en tous points, des résultats que lui a donnés l'ascenseur qu'elle a fait

construire à Peterborough, en projette actuellement un second de la même importance, sauf que la chute à racheter ne sera que de 15 mètres environ.

Dans le rapport, dont il est déjà question ci-dessus, que j'ai présenté avec M. l'Ingénieur principal Denil, au IX^e Congrès de navigation, nous avons indiqué d'une façon sommaire les perfectionnements à réaliser dans les nouveaux ascenseurs hydrauliques. Tous ont pour objet de les simplifier et de leur donner la rusticité nécessaire pour qu'ils puissent servir à leur destination, qu'ils puissent être entretenus avec facilité et à peu de frais, et sans qu'il soit besoin de prendre de précautions minutieuses pour leur manœuvre.

Pourra-t-on jamais arriver aux mêmes résultats avec des plans inclinés pour grands bateaux, rachetant de grandes différences de niveau ? Nous ne le pensons pas.

Sans doute, il serait téméraire de considérer les projets de plans inclinés qui ont vu le jour jusqu'ici, pour des applications à des bateaux de plus de 300 tonnes, comme non susceptibles de nouveaux perfectionnements. Mais quels que soient ceux-ci, il semble que les élévateurs verticaux et, particulièrement, les ascenseurs hydrauliques, auront toujours, sur les plans inclinés, les très grands mérites de la simplicité, de la facilité et de la rapidité des manœuvres, et, enfin, de l'économie dans les dépenses d'entretien.

Un ascenseur hydraulique du type de ceux appliqués en Angleterre, en France, en Belgique et au Canada, ne comporte, en fait, que deux parties essentielles : les sas et les presses de support, à raison d'une seule presse par sas.

Un plan incliné, quel qu'il soit, en comportera toujours un plus grand nombre, savoir :

a) la ou les voies de support ou de roulement des sas, suivant que ceux-ci sont à translation longitudinale ou transversale :

b) des organes nombreux pour le roulement ou l'appui des sas sur ces voies, suivant que ces sas seront montés sur rones, sur rouleaux, ou glisseront sur patins ;

c) des organes extrêmement importants, établissant une liaison entre les sas équilibrés (câbles, chaînes, tubes pneumatiques ou hydrauliques, etc., etc.), ou bien des appareils produisant ou utilisant des forces motrices pour rendre les sas, en quelque sorte, auto-moteurs.

Quant aux sas proprement dits, à leurs portes, aux appareils servant à la manœuvre de celles-ci et des portes fermant les biefs d'amont et d'aval, au dispositif permettant la formation

des jonctions étanches aux têtes de ces biefs, on peut les considérer comme étant les mêmes dans les élévateurs verticaux et dans les plans inclinés.

La simple énumération des parties essentielles des plans inclinés, qu'on ne rencontre pas dans les ascenseurs, suffit, croyons-nous, pour démontrer que, quoi qu'on fasse, ces parties présenteront toujours beaucoup plus de complications et de points faibles que la simple et unique presse qui sert à supporter et à mettre en mouvement chacun des sas des ascenseurs hydrauliques. Elle suffit donc aussi, selon nous, pour justifier la préférence qu'il y aura généralement lieu de donner aux ascenseurs verticaux sur les plans inclinés, pour racheter, dans les canaux servant à la navigation de bateaux de fort tonnage, les grandes différences de niveau.

En Belgique, cette préférence a été affirmée pour les raisons qui ressortent de ce qui précède. Le projet de plan incliné que l'on avait présenté pour racheter la chute de 15 m. 397 que le canal du Centre présente, à La Louvière, a dû être écarté parce qu'il comportait énormément de complications mécaniques, un très grand nombre d'organes mobiles délicats, et que, en présentant moins de sécurité qu'un ascenseur hydraulique, il aurait donné lieu à un entretien onéreux et à une surveillance incessante.

En France, les projets de plans inclinés présentés au concours ouvert par le Ministre des Travaux publics, pour l'étude d'appareils mécaniques susceptibles de racheter la chute de 41 mètres que pouvait présenter le canal de la Marne à la Saône, ont subi le même sort. Et ils l'ont subi, non seulement pour les mêmes raisons (1), mais encore, pour un des projets comportant deux sas supportés par des patins glissants, parce qu'il supposait des vitesses de translation de 4 mètres à la seconde, absolument inadmissibles pour assurer la sécurité du passage des bateaux flottants dans le sas, et aussi, parce qu'il aurait exigé, pour des vitesses de translation admissibles, des consommations d'eau extrêmement importantes.

Enfin, un autre projet, comportant un seul sas, supporté par des patins glissants et traîné par des locomotives, a dû être écarté, d'abord pour insuffisance d'étude, et ensuite, parce qu'il a été reconnu qu'il exigerait, pour sa manœuvre, une durée de

(1) Voir l'ouvrage de M. G. CADART, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, *Ascenseurs, plans inclinés et écluses pour le rachat des grandes chutes des canaux*. Paris, librairie polytechnique Baudry et C^e, éditeur, 1898.

2 1/2 heures, et des frais de traction considérables, et, en outre, parce que, s'il pouvait y être fait des modifications pour remédier à ces défauts, ces modifications le mettraient alors dans les mauvaises conditions indiquées précédemment et qui suffisent pour en imposer le rejet.

De l'étude des projets dont il vient d'être question et de tous ceux prévoyant l'emploi de plans inclinés, dont il nous a été donné d'avoir connaissance, il est résulté pour nous cette conviction, que les plans inclinés, en admettant même, ce qui n'est pas encore prouvé, qu'ils puissent assurer avec rapidité et sécurité le passage des bateaux de fort tonnage flottants dans les sas et que la répartition des charges considérables qu'ils comportent puisse se faire dans des conditions pratiquement satisfaisantes, seront toujours des appareils à organes mobiles, nombreux, d'une certaine complication et d'un entretien onéreux. Ils réclameront donc toujours, pour que leur bon fonctionnement soit assuré, une surveillance assujettissante.

Les résultats du concours organisé récemment à Vienne en vue de rechercher le projet le meilleur pour pouvoir faire racher par des bateaux la chute de 35 m. 90 de Prerau (Moldavie) sur le canal du Danube à l'Oder (1), pourront-ils modifier notre manière de voir à ce sujet ? Nous ne pouvons nous prononcer sur ce point.

Nous avons bien appris que parmi les nombreux projets d'applications mécaniques présentés à ce concours, un projet comportant deux plans inclinés parallèles et de pente moyenne, avec tracteurs électriques et crémaillères, avait été classé le premier. Malheureusement, nous n'avons pu, jusqu'ici, avoir connaissance des détails de ce projet et, dans ces conditions, rien ne nous permet de modifier l'opinion que nous avons émise précédemment sur l'infériorité des plans inclinés sur les ascenseurs verticaux et, notamment, sur les ascenseurs hydrauliques.

Dans l'état de nos connaissances sur les différents systèmes qui ont été préconisés jusque dans ces derniers temps pour faire franchir aux bateaux de grandes différences de niveau, nous sommes donc amenés à penser que pour tous les cas spéciaux indiqués par les résolutions votées par le IX^e Congrès international de navigation de Dusseldorf, les ascenseurs hydrauliques paraissent appelés à fournir la meilleure solution pratique.

Bruxelles, le 15 décembre 1904.

H. GENARD.

(1) *Génie civil*, tome XLVI, n° 2 (12 novembre 1904), page 32.

PERMANENT INTERNATIONAL ASSOCIATION
OF
NAVIGATION CONGRESSES

X. CONGRESS - MILAN - 1905

I. Section : Inland Navigation
3. Question

INVESTIGATION OF THE METHODS BEST SUITED
FOR
Surmounting great Differences of Level
BETWEEN THE REACHES OF CANALS

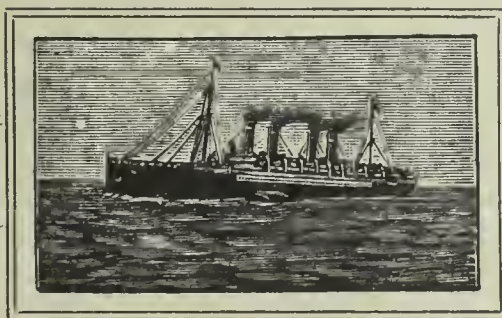
REPORT

BY

Em. LEFEBVRE

Principal Engineer of the Ponts et Chaussées at Brussels

NAVIGARE



NECESSE

BRUSSELS

PRINTING OFFICE OF THE PUBLIC WORKS (CO. LTD.)
18, Rue des Trois-Têtes, 18

1905

STUDY

OF

Systems suited to overcoming high lifts between Canal levels

REPORT

BY

Em. LEFEBVRE

Principal Engineer of the Ponts et Chaussées at Brussels

General Considerations.

The improvement of existing systems of waterways and the creation of artificial navigable highways has taken up, rightly, the attention of different countries, especially during the last twenty-five to thirty years.

This question, neglected for half a century by reason of the wonderful developement of railways, has become again the order of the day since it has been noticed that canals can only complete the railway systems, to the great benefit of trade and industry, by relieving the railways from the heavy, bulky materials, and carrying them much more cheaply.

Complete as the neglect had been, equally great is the present strife to develope and perfect the hydraulic systems with a view to increase their economic value ; all efforts are bent toward realizing arrangements to enlarg the capacity of circulation on the navigable highways, by making the best possible use of boats, by reducing the time of a trip and bringing down not only the first cost but also the expenses of maintenance and working.

Among the difficulties to be overcome to reach these ends, the methods suited to pass over great differences of level attract especially the attention of engineers.

Marked advance has been made along this line ; it suffices, to be convinced of this, to go back to the situation described at the first International Navigation Congress, held at Brussels in 1885, and to compare it with the results set forth by the

articles presented and the discussions called forth at the IXth. International Congress which took place at Düsseldorf in 1902.

Locks were considered formerly as affairs of very limited power, only exceptionally could their lift reach 4 or 5 metres ; the length of time required to pass them caused accumulations of boats and their passage demanded large volumes of water.

To obviate these defects, it seemed that high lifts could be passed only by the help of special apparatus : lifts and inclined planes.

Governed by these ideas, lifts were erected at Anderton (England), at the Fontinettes (France), at La Louvière (Belgium), and at Henrichenbourg (Germany) for boats of 80, 300, 350 and 600 tons, with lifts of 15.35 m., 13.13 m., 15.40 and 16 metres about. More recently, a lift has begun to operate at Peterborough (Canada) to overcome a difference of level of 19.825 m.

Inclined planes have only been, up to the present time, the object of very ingenious projects for the types and tonnage of boats generally used in the inland navigation of the continent of Europe.

Although lifts solve the question in the case of exceptional differences of level to be overcome in a short distance when water is lacking, a great hazard still exists in regard to these mechanical engines : how long will these wholly metallic structures last exposed as they are to destructive agents ?

The lifts built are of too recent date to give any opinion on their lasting ; it is not rash to say, however, that, every other consideration set aside and be the perfections, cares and preservative measures what they may, these metallic apparatus will not act like the masonry of locks, and will not be possessed, like the latter, of a sort of unlimited life at the cost of easy and relatively unimportant works of maintenance.

The advance made in the building of locks allows lifts of 4 or 5 metres to be overcome at the present time and boats to be locked through quickly and with little waste of water. Even greater differences of level are now passed by locks containing no apparatus or parts which can make them lose their distinctive character of simplicity and plainness, notably at Gleesen and Munster (6.20 m.), at Bourg-le-Comte (7.20 m.) and at Vilette (9.62 m.).

Projects for inland canals are now under study with locks reaching and even exceeding the heights given above. Among the most recent will be mentioned the projects relating to the

transformation of the « Lüdwigkanal » from Kelheim to Bamberg (Bavaria), to the lateral canal by the Main from Bamberg to Aschaffenburg and to the lateral canal by the upper Danube between Kelheim and Ulne. The locks studied have a lift of 5.74 m. for 1,000-ton boats, and of 8.27 to 10 metres for 600-ton boats.

It has seemed useful to recall these few data in order to show the road travelled since 1885 in the construction and conception of locks, considered until then as very imperfect machines.

Work done and in progress on the canal from Charleroi to Brussels to overcome a difference of level of 64 m. 70, in a distance of 14,500 metres.

In an article presented to the International Congress at Düsseldorf, the conditions of transformation of this canal to allow the circulation of boats of 350 tons were set forth; it was shown that the middle part of this navigable highway had, in a distance of 16,000 metres, a total fall of 64.55 m. passed over by 28 locks, of which 11 of 2 metres lift, 12 of 2.40 m. and 5 of 5.75 m.

This difference of level will be overcome in a distance of 14,500 metres by means of 15 locks 5.20 m. wide and 40.80 m. of available length, of which 7 have 4.10 metres lift and 8 have 4.50 m. The arrangements of these locks were described in the article mentioned.

The table given further on shows these works, the lengths of the levels between them, the height of the water surface in each one of them, the area of the normal surface, the regulating and supply basins adjoined to certain levels with their area at the level of the normal surface.

The data in this table show the importance of the work accomplished or to be done to overcome the fall, and bring out the fact that the length of the levels is such that the time required to pass over them is equal, at least, to the time necessary to pass through the locks; they show also on the one hand, that the variations of the water surface can scarcely exceed 0.10 m. under the action of three successive passages at the lock below, which will demand at most 3,200 cubic metres without calling on the storage basins and, on the other, that the water supply will be had automatically and without resorting to the appa-

Designation of the locks and levels	Length of the locks and levels	Lift of the locks	Depth of water on the levels	AREA AT NORMAL SURFACE		Total area of normal surface	OBSERVATIONS
				of the levels	of the regulating on supply basins		
Lock 13N .	m 61.90	m 4.10	m	m ²	m ²	m ²	All the locks, except N. 38N and 39N, have two storage basins which allow 44 % of the water used for a lockage to be quickly economized.
Level 13N .	1,239.35		2.40	29,240	—	29,240	
Lock 15N .	58.10	4.10					
Level 15N .	1,064.30		2.40	28,785	—	28,785	
Lock 17N .	58.10	4.10					
Level 17N .	1 426.90		2.40	36,212	—	36,212	Locks 61.90 m long have a permanent bridge across the tail bay.
Lock 19N .	58.10	4.10					This level receives water from a supply creek ; each lock after No 23 has attache d to it a regulating feeder having at each end a sluice 2 metres wide.
Level 19N .	1,162.75		2.40	38,765	—	38,765	
Lock 21N .	61.90	4.10					
Level 21N .	1,088.80		2.40	28,106	—	28,106	
Lock 23N .	58.10	4.50					(1) This level was deep- ened on account of its restricted area due to local circumstances.
Level 23N .	1,001.89		2.40	25,940	—	25,940	
Lock 25N .	58.10	4.50					
Level 25N .	623.35		2.60 (1)				
Lock 27N .	58.10	4.50					(2) The supply basins re- ceive water from brooks and increase, at the same time, the capacity and sur- face of the adjoining levels.
Level 27N .	769.30		2.40	26,972	7,208 (2)	34,180	
Lock 29N .	58.10	4.50					
Level 29N .	799.36		2.40	33,774	16,076 (2)	49,850	
Lock 31N .	58.10	4.50					(3) The regulating basins merely increase the capa- city and surface of the adjoining levels. All these basins commu- nicate with the adjoining levels by two waterways each 2 m. wide.
Level 31N .	782.74		2.40	20,138	9,690 (2)	29,828	
Lock 33N .	61.90	4.50					
Level 33N .	985.00		2.40	29,905	—	29,905	
Lock 35N .	58.10	4.10					Two large supply ba- sins having a volume of 100,000 m ³ and 30,500 m ³ are built on the left bank of levels Nos 35N and 37N; their water overflows into levels Nos 37N and 38N to make good all losses of water on the downstream slope as far as Brussels, a distance of 34 kilometres. This is why locks Nos 38N and 39N have no supply basins.
Level 35N .	1 019.81		2.40	31,064	14,421 (2)	45,485	
Lock 37N .	58.10	4.50					
Level 37N .	807.34		2.40	26,057	19,537 (3)	45,594	
Lock 38N .	61.90	4.10					
Level 38N .	767.20		2.40	20,950	—	20,950	
Lock 39N .	61.90	4.10					
Totals . .	14,498.59	64.70					

ratus of the locks, which cannot but be advantageous for the regular movement of navigation.

Five locks of 4.10 m. have been in operation for more than two years ; they accomplish the double end sought of insuring a quick and safe passage for the boats and of saving, at the same time 44 % of the volume of water necessary for each lockage, that is to say 425 out of 980 cubic metres.

The work on the other locks is now going on.

The characteristic of the locks built lies in the two storage basins of the same area as the lock chamber, spread out like a fan on one of the plateaux : these basins can hold sheets of water 0.95 m. and 0.825 m. in depth under final heads of 0.20 m. and 0.27 m.

The arrangements adopted are simple, not liable to get out of order and include no complicated mechanism. Furthermore they are economical as they cause for each lock an additional outlay of only 24,100 francs.

Numerous observations have shown that the lockage of a boat going up or down requires about fifteen minutes when the storage basins are not used ; the working of the latter adds scarcely two minutes, although this operation utilizes only the longitudinal culvert in the lock wall alongside of these basins.

In these times, the approach, entrance, exit, and withdrawal of a boat as far as 50 metres from the work take up 10 1/2 minutes, the traction being done by one horse. It is evident that these operations might be hastened by the use of electric capstans ; these machines would gain at least three minutes if the intensity of traffic justified such plants.

To fill or empty the lock chamber requires five or three minutes according as the storage basins be or be not used.

These relatively short spaces of time for the water operations are due, on the one hand, to the dimensions of the cylindrical valves used, which are 1 m. 40 in diameter and rise 0 m. 38 and, on the other hand, to the rectilinear plan, to the sections and arrangements adopted for the wells (2 m. 40 in diameter), for the longitudinal culverts (1 m. 70 × 1 m.) and for the four transverse branches (0 m. 80 × 0 m. 75) built in each lock wall. The surface of the water rises or falls in the lock chamber with an average velocity of 0 m. 0234 per second without causing any dangerous movement of oscillation in the boats which are not even tied up during these operations.

The lowering of the floor of the lock 0 m. 50 and the inverted arch form given to it leave a water mattress of at least 0 m. 80

under the keel of loaded boats, a most favorable arrangement to deaden the shocks and velocity of the water. In this way the boats run no risks even assuming that the water rises or falls 5 cm. per second, especially if care be taken to raise or lower the upstream or the downstream valves at the same time, and to increase the number of openings between the chamber and the longitudinal culverts.

If cylindrical valves 2 metres in diameter and rising 0 m. 50 were adopted, with longitudinal culverts of 2 m. 40 \times 1 m. 40. and 8 transverse branches of 0 m. 80 \times 0 m. 75 between each culvert and the chamber, the water operations would be greatly hastened and the additional time necessary for operating the storage basins would be reduced.

These improvements, finished by the electrical equipment, handled from a central watch-house, necessary for operating all the apparatus, would reduce the total time of a lockage with the use of the storage basins by at least five minutes ; but the use of these basins only requires an additional time of 1 min. 30 sec. The passage of a boat, either up or down, from 50 metres outside the lock at one end to the same distance beyond at the other, would require, for a lock of 4 m. 10 lift, 12 minutes, and still save 44 % of the volume of water needed.

It has been said above that the operation of the storage basins utilizes only one of the longitudinal filling or emptying culverts.

Arrangements for using both of these culverts have been obtained on some navigable highways. For this purpose, one of the upstream valves is used only to fill the lock and a conduit set under the chamber of the upstream gates brings the two culverts into communication ; the other upstream valve serves one of the storage basins.

This arrangement is not to be recommended, in the author's opinion ; the two culverts are not used under the same conditions of supply either for filling the lock, or for the use of the basins.

If the two longitudinal culverts are to be used during the operation of the storage basins, it is indispensable that the latter be doubled on both banks ; this multiplicity of basins takes away nothing from the simplicity of the entire work and is adapted perfectly to a large traffic, especially if the valves be handled by electricity.

Still it is believed that, in view of the times noted at the locks of the Charleroi canal, this doubling would produce no appreciable effect on the length of the lockage of boats of 350

tons and that it should not be resorted to except for locks of large dimensions like the one at Munster which passes boats of 600 tons, and whose chamber is 72 m. 50 long and 8 m. 60 wide.

All the manœuvring apparatus at this last work, which has a lift of 6 m. 20, are driven by electric motors for which this high fall, driving a turbine, furnishes the power. From observations made, a complete lockage does not take even nine minutes, which confirms the results pointed out for the length of the operations.

There is no doubt that the arrangements of the locks of 4 m. 10 and 4 m. 50 of the Charleroi canal can be applied to much greater lifts, even 8 to 10 metres, without losing any of the plainness or simplicity of the operations. The improvements described above would then become absolutely necessary, so as not to increase sensibly the duration of a lockage, especially if it were desired to increase the economy of water from 44 to 66 %. This last result could be had easily by placing 4 storage basins, two on each bank, the operation of which would require 3 minutes at the outside.

On the other hand, the time for filling or emptying the chamber, not increasing proportionately with the lift, would only be lengthened by about 2 minutes for a difference of level of 10 metres.

All these data founded on practical observations at locks in operation show that it is perfectly possible to pass a boat, in fifteen minutes, through locks with a lift of 8 to 10 metres, and still reduce the amount of water used by 66 %. The volume of water expended would correspond to that of ordinary locks with lifts of 2 m. 70 to 3 m. 40.

Capacity of frequentation of navigable highways and utilization of the boats.

The passage of locks with a lift of 4 or 5 metres, built with all the latest improvements, can be accomplished in 12 minutes with a saving of 44 % of the volume of water used ; that of locks with a lift of 8 to 10 metres is possible in 15 minutes with a saving of 66 % of the same volume.

The time for a boat to pass through the lifts now in use varies from 15 to 20 minutes ; hence these machines reduce to a certain extent the capacity of frequentation of the navigable

highway, but, on the other hand, they are more advantageous for the boating interest, because they allow heights varying from two to four times more to be overcome in very little more time; hence, all else being equal, boats will need less time to traverse a waterway served by this sort of machines.

The resulting advantages are not so great that they should be considered in determining the choice between locks and lifts.

Take a canal 250 kilometres long, of which the summit level is 128 metres above one terminus and 80 metres above the other, and assume that these heights are overcome by 13 lifts of 16 metres stroke, or by 26 locks of 8 metres lift.

The crossing of 13 lifts will require at the least 195 minutes, while to pass 26 locks will take at most 390 minutes.

All else being equal, the lifts will obtain an advance which will reach at most 3 h. 25 m., while the trip through the canal, not counting these works, will need about 60 hours.

This saving of time can have no appreciable influence, in the author's opinion, on the price or productiveness of transportation.

Volumes of water necessary to pass through works overcoming great differences of level. Arrangements proposed for reducing large expenditures of water in locks and for remedying them.

The only serious advantage that can be claimed for the mechanical elevators used for overcoming high lifts, lies in the small volume of water required for passing the boats; this volume is independent of the height.

The hydraulic lift at La Louvière, for example, uses only 205 cubic metres of water at each lockage for a lift of 15 m. 40, while the locks for boats of 350 tons require 239 cubic metres for each metre of lift.

This defect of locks was recognized even from their invention and was a source of preoccupation for the technicians of the period who were interested in the development of canals.

The first attempt to remedy it was made, it is believed, in Belgium, when the Boesinghe lock, on the canal from Ypres to the Yser, was built in 1643. Two basins were attached to this work, which had a lift of 6 m. 50, to economize one third of the water required for a lockage.

This attempt was only renewed a long time afterwards on a few other Belgian canals, but the system scarcely spread at all because it was not suited to an active navigation and because it gave rise to considerable cost.

The arrangements obtained for the two basins of each of the new locks of the Charleroi canal do away with these disadvantages.

These simple arrangements can be perfectly well applied, without losing their character, to locks of 8 to 10 metres lift, and still not increase appreciably the total length of the locking operations while reducing the volume of water expended to what is necessary for locks of 2 m. 70 to 3 m. 40 lift.

The saving of water which may be realized practically by storage basins attached to the locks may still be insufficient to help in developing canals in countries where the supply of water is limited. Researches and studies have been going on for a long time, already, to increase this saving and even to do away entirely, if possible, with all consumption of water at the locks.

Every one knows the appliances devised for this purpose by the French engineers Bétancourt (1807) and Girard (1843) and by the English engineer Busby (1813), in which a single float or one with superposed compartments working in a basin alongside of the lock chamber, caused, by its movement upward or downward, the water desired to establish in the chamber the level of the lower or upper pool to be sucked out or forced up.

Inspired by the ideas of these technicians, Mr Schnapp, Royal Inspector of Hydraulic Works, at Berlin, laid before the Düsseldorf Congress a very ingenious system whereby, with the assistance of a float divided into compartments which receive the water held in the lateral reservoirs, the level of the water in the lock chamber can be made to vary at will without borrowing from the upper level. Mr Schnapp has shown in his article that, for a lock with a lift of 12 m. 50, receiving boats of 600 to 800 tons and requiring 8,500 cubic metres for a lockage, the use of this system would call for only 97 cubic metres of water or a motive force given by a machine of 45 effective HP.

Of the same order of ideas, the arrangement devised by the French engineer Burdin (1830), to apply to locks the principle of the double syphon, must not be passed by in silence. Alongside of the lock and communicating with the chamber was

placed through a piston which was suspended and movable in the basin ; the flow in one or the other direction was obtained by adding or subtracting a very thin sheet of water in the lock.

Mr Nyssens-Hart, Honorary Chief-Engineer of the Ponts et Chaussées, at Brussels, took up again the same principle by substituting for the suspended piston, a sustained and balanced piston on which he produces the changes of pressure desired to produce the to and fro motion of the water between the lock chamber and a circular basin of equal area. This technician presented a completely and thoroughly studied project for a lock 5 m. 20 wide, with a 5 m. lift, and able to pass boats of 350 tons, which appeared in the *Annales des Travaux Publics* of Belgium for 1887. This very carefully prepared and very interesting study reaches the conclusion that the lockage would only require about 39 cubic metres of water.

This result, like that noted by Mr Schnapp, would be certainly very remarkable from the point of view of alimentary resources, if the practical realization of these projects raised no objections.

These combinations which are so pleasing at first sight, have the great disadvantage of changing the locks by taking away from them their plain and simple character, of requiring for working them movable and delicate parts, like to if not identical with those of lifts and which, in the same way, raise the same objections from the standpoint of use and working. The handling of such machinery cannot be intrusted to persons who are often ignorant and nearly always careless, and it would demand, like that of the lifts, a special and experienced set of hands.

It is to be feared that all these very ingenious combinations, doing their authors great honor, may hold many deceptions in reserve if they be applied on a large scale. In any case, such installations are very expensive to put up, and their cost of working and maintenance are much higher than those of the most improved locks while they do not offer same security as the latter for the navigable highways on which they are used.

Must the effort to reduce or suppress the consumption of water at locks be sought in transformations of this kind ?

It is not thought so, and it is believed to be possible, in view of the advance of modern science, to perfect still further and to complete the lock so as to do away with this consumption of water, and still preserve the strength and little complication of the mechanism of these apparatus.

The plate accompanying this report shows a lock with a lift of 4 m. 50 for boats of 350 tons with two storage basins attached, giving a saving of 475 cubic metres in 1,075. The lock has cylindrical valves, longitudinal culverts and side branches of sufficiently large section to reduce the length of the water operations of a lockage to the minimum.

These locks can subserve a large traffic so soon as the length of the levels is such that the boats can run their full length, and without stopping, during the time necessary to overcome the lift.

A daily movement of 40 boats, three-quarters of which are carrying 350 tons, half of them passing each other at the locks and the other half following each other in one or the other direction, can be carried on easily in eight or ten hours, according as the storage basins are not used or are brought into play. This circulation corresponds to a daily traffic of $30 \times 350 T = 10,500$ tons, or an annual tonnage of 3,150,000 tons counting 300 days in the year.

Such a movement will require daily at each lock 32,250 cubic metres of water for the lockages ; but this consumption will be reduced to 18,060 cubic metres by the use of the basins.

If the water supply be too limited to stand such a daily expenditure of water, or if the difficulties of finding a sufficient quantity be too great or too expensive, it seems easy and practicable to add to the locks machines to raise the water spilled over from above.

For this purpose a room can be built in the downstream wall, a well communicating with the lower level leads from this room in which two centrifugal pumps are placed at the level of the banquette. These pumps, driven by dynamos, will each be able to raise, in twelve hours, one half the total volume expended into a discharge conduit of armored concrete, 1 metre in diameter, running along the lock wall and ending in a surface waste weir, built in the upper wing wall, and having its lowest point 0 m. 20 above the normal level of the pool.

The advantage of this arrangement is that in case the pumps are stopped they can be isolated completely from the upper-level. If the discharge conduit were under water, this isolation could only be obtained by valves or gates which do not offer the same conditions of security.

Bottom sluices closed with clack-valves, will be placed, on the one hand, under the waste-weir mentioned, to fill the con-

duit and prime the pumps, and, on the other hand, between the reservoir into which the water is pumped and the downstream well so that the whole system can be completely emptied. Large gate valves cut off all communication between the reservoir and either pump, and a system of gates allows the downstream well to be isolated.

The dynamos will be set in a small building on the plateau the lock. All the operations will be collected here, which will be advantageous for their quick performance, as the lock-keeper will not have to lose any time in running from one piece of machinery to another for the various operations to be done. Level indicators, easily put up, will keep the agent informed as to the level of the water in the pools, the lock and the storage basins, and all the fluctuations which may take place.

The electric apparatus will be placed, in this way, so that they can be easily examined, and their preservation and maintenance perfectly insured.

The accompanying plate shows the whole of these plants of which the annual cost of running will be calculated.

The discharge per second of each group of apparatus should be $\frac{18,060}{2 \times 12 \times 60 \times 60} =$ about 209 litres.

The velocity of flow of the water in the supply conduit, of which the section is $3,57 \text{ m}^2$, will be $\frac{0,418 \text{ m}^3}{3,57 \text{ m}^2} = 0 \text{ m. } 117$, that is, insignificant so far as the movement of the boats is concerned.

The sheet of water flowing over the waste-weir being supposed 0 m. 15 deep, the width of the weir is given by

$$l = \frac{Q}{2.953 \times \Theta \times H^2} = \frac{0.418}{2.953 \times 0.665 \times \sqrt{0.15^3}} = \frac{0.418}{0.114} = 3.66 \text{ m.}$$

Taking a width of 4 metres, the water will reach the upper level with a velocity of $\frac{400 \times 0.15}{0.418} =$ about 0 m. 70. This water will spread out in superficial waves which will die away so quickly as to cause no trouble for the movement of the boat.

The velocity of the water in the discharge conduit will reach at the maximum $\frac{0.418}{\pi R^2} = \frac{0.418}{0.785} = 0,53$. The losses of head in this conduit and in the suction and discharge pipes of the pumps will be at most 0 m. 10. Assuming variations of 0 m. 20

above or below the normal surface of each level, the maximum height to which the water must be raised will be $0.20 + 4.50 + 0.10 + 0.20 + 0.15 = 5$ m. 15.

The power expended by each group in water raised per second will be $209 \times 5.15 = 1,071.35$ kilogrammetres. Running normally, centrifugal pumps have a yield of about 0.6, hence the number of kilogrammetres to be furnished per second by each dynamo will be $\frac{1071.35 \text{ kgm.}}{0.6} = 1,785 \text{ kgm.}$

Dynamos can be built and set up so as to produce at least 80 % ; the force in kilogrammetres to be furnished per second will be, under these conditions, $\frac{1785}{0.80} = 2,231 \text{ kgm.}$ or in watts, $2,231 \times 9.81 \text{ w} = 21,886.11 \text{ w.}$ or, in round numbers, 21.89 kilowatts.

The consumption of energy at each receiver during a period of 12 hours will then be $21.89 \text{ kw} \times 12 \text{ h} = 262.68 \text{ kwh.}$ or 525.36 kwh for the two groups.

The progress made by science both for establishing and setting up large central electric stations using fuel, and for transporting electric energy at high tension for great distances, now allow the kilowatt hour to be obtained at a cost of 0.06 francs (= \$ 0.012) on the dynamo shaft; this figure even could be greatly reduced if there existed in the country passed through natural forces which were sufficiently powerful and easily turned to account to produce the necessary electric energy.

Be that as it may, the maximum daily cost, under the present situation of coal-burning central electric stations, will be $525.36 \text{ kwh} \times 0.06 = 31.52$ francs for the two sets of apparatus at each lock.

Applying the system sketched out to a navigable highway involving a chain of 15 locks overcoming a difference of level of 64.70 metres, let a comparison of expenses be made with a waterway where the same height is to be gained by 4 lifts, each rising 16.175 metres.

The daily cost of raising the lockage water at the locks will reach $31.52 \times 15 = \text{fr. } 472.80$, and the annual cost for the 300 days of navigation will be 141,840 francs, or the interest at 3 % on a capital of 4,728,000 francs.

This hypothesis is based on an outside limit, because it is very unlikely that a country will be found which has to suffer under a penury of water for so long a period.

On the other hand, the lifts will each require an expenditure

water of at least 205 cubic metres per operation, or a daily volume, flowing down stream, of 6,150 cubic metres.

If such an expenditure of water were assumed for the locks, the daily cost of lifting back the water would be reduced by $\text{fr. } 472.80 \times \frac{6150}{18060} = 161 \text{ francs}$ and brought down fr. 311.80 ;

the annual cost would be but 93,540 francs, or the interest at 3 % on a capital of 3,118,000 francs.

In the matter of first cost, the locks with all the improvements described above will cost 250,000 francs each, including pumps and accessories, dynamos, transformers, switch boards, etc., or a total cost of $250,000 \times 15 = 3,750,000$ francs ; the four lifts will cost at least 6,000,000 francs, or 2,250,000 more than the locks.

To this difference must be added the naturally much greater expense of building the canal between the lifts, these great differences of level causing, in most cases, greater embankments and excavations and preventing the shape of the natural ground from being followed as closely as it can be with the smaller lifts of the locks.

The scope of the present report does not allow of dwelling longer on this point or on that of the cost of maintenance or amortization of the plant which is certainly higher for lifts than for locks.

The figures given above suffice to show that the solution by lifts is far inferior to that by locks equipped to lift back all the water used for lockages, not only from the financial standpoint, but also from that of the water supply.

This inferiority would be still more manifest if the height considered were to be overcome by eight locks each having a lift of 8 m. 09, and each supplied with four storage basins capable of economizing 66 % of each lockage.

Calculations similar to those developed above show that the daily navigation movement considered would require 58,020 cubic metres for the lockages ; the working of the basins would reduce this volume to 19,740 cubic metres which would have to be raised by the two groups in twelve hours, or 228 litres (= 60 gallons) per second for each group.

The consumption of energy at each receiver would be, during 12 hours, 492.12 kwh, or for the two groups, 948.24 kwh, giving a cost of 59.05 fr, for raising back the water at each lock. The total daily cost for 8 locks would be 472.40 fcs, or 141,720 francs for 300 days of navigation : the interest at 3 % on a capital of 4,724,000 francs.

If the same expenditure of water were assumed at these locks of 8 m. 09 lift as at the lifts, the cost of raising the water would be only 323.42 francs per day, 97,026 francs per year, or the interest on a capital of 3,234,200 francs.

The first cost of the 8 locks of 8 m. 09 will be 3,120,000 francs, that is 630,000 francs less than the 15 locks considered in the first place and 2,880,000 francs less than the 4 lifts.

The locks finished in the way so summarily shown are still simple and substantial affairs involving no delicate part or one hard to replace ; their operation needs no special crew, as the ordinary lock-keepers are perfectly able to turn on the current for the different motors and to grease the various parts as they are now doing at many locks.

The price of raising back a cubic metre of water in the examples considered would amount, from the data given above, to fcs 0.025.

Conclusions.

The preceding considerations show that it is possible to build locks of the ordinary type, with lifts of 8 to 10 metres, with no complication of delicate parts to handle, while economizing quickly 66 % of the volume of water used for a lockage.

These locks, like those having a lift of only 4 or 5 metres, can be completed easily with simple, strong machines, driven by electricity, and able to raise from below to above the lock, under satisfactory economical conditions, the part of the volume of the lockage which has not been economized.

So far as the water supply is concerned, the solution by means of locks so equipped is the one most to be recommended ; from the financial standpoint it will be better than that requiring lifts to overcome great differences of level in the construction of artificial navigable highways.

Brussels, December 31, 1904.

EM. LEFEBVRE.

PERMANENT INTERNATIONAL ASSOCIATION
OF
NAVIGATION CONGRESSES

X. CONGRESS " MILAN - 1903

I. Section : Inland Navigation
3. Question

REPORT
BY
EM. LEFEBVRE

X. CONGRESS - MILAN - 1903

REPORT
OF
EM. LEFEBVRE

*Dispositions d'ensemble pour le rivage mécanique électrique,
de l'aval à l'amont, des eaux non économisées vers les bassins*

coupe longitudinale suivant A B. 1 250

Legende

A. Faisard
B. Chémber des jésuites
C. Anthon des dames noires
D. Réveron et candide verres
E. Merveilleux

Ponte de 0,08 p m sul: 50,00

Plan d'ensemble. 1 250

Conduite de ... refoulement 2

Longueur utile 40,80

58.10

.. Arrière radier ensemble de 0,30

fête | aval

1 | 200

Dressé par l'Ingénieur principal
des Bûts et Chaussées soussigné
Bruxelles, le 31 décembre 1928

Embleme

627.06
I NR
1905

ASSOCIATION INTERNATIONALE PERMANENTE

DES

CONGRÈS DE NAVIGATION

X^e CONGRÈS - MILAN - 1905

I. Section : Navigation Intérieure

3. Question

ETUDE

DES

Systèmes propres à racheter les grandes Chutes

ENTRE LES BIEFS DE CANAUX

RAPPORT

PAR

M. E. LEFEBVRE

Ingénieur principal des Ponts et Chaussées à Bruxelles

NAVIGARE



NECESSE

BRUXELLES

IMPRIMERIE DES TRAVAUX PUBLICS (SOCIÉTÉ ANONYME)

18, Rue des Trois-Têtes, 18

1905

É T U D E

DES

Systèmes propres à racheter les grandes chutes entre les biefs de canaux

R A P P O R T

PAR

Em. LEFEBVRE

Ingénieur principal des Ponts et Chaussées à Bruxelles

Considérations générales.

L'amélioration des réseaux hydrauliques existants et l'établissement de voies navigables artificielles préoccupent, à juste titre, les différents pays, surtout depuis vingt-cinq à trente ans.

Cette question, délaissée pendant un demi-siècle, par suite du merveilleux développement des chemins de fer, est revenue à l'ordre du jour lorsqu'on s'est partout rendu compte que les canaux ne peuvent que compléter, au grand profit du commerce et de l'industrie, les réseaux ferrés, en soulageant ceux-ci des matières pondéreuses et encombrantes, et en les transportant dans les meilleures conditions de bon marché.

Autant l'abandon avait été profond, autant l'émulation est grande actuellement pour développer et perfectionner les réseaux hydrauliques en vue d'accroître leur valeur économique; tous les efforts tendent à réaliser des dispositifs augmentant la capacité de fréquentation des voies navigables, utilisant le mieux possible le matériel de la batellerie par la réduction de la durée des transports et diminuant non seulement les frais de premier établissement, mais aussi les frais d'entretien et d'exploitation.

Parmi les difficultés à vaincre pour atteindre ces desiderata, les systèmes propres à racheter les grandes différences de niveau attirent particulièrement l'attention des ingénieurs.

Des progrès marquants ont été accomplis dans ce domaine; pour s'en convaincre, il suffit de se reporter à la situation décrite au premier Congrès international de navigation, tenu à Bruxelles en 1885, et de la comparer aux résultats accusés par les mémoires produits et les discussions soulevées lors du IX^e Congrès international qui a eu lieu à Düsseldorf en 1902.

Autrefois, les écluses à sas étaient considérées comme des appareils de puissance très limitée, la hauteur de chute ne pouvant atteindre qu'exceptionnellement 4 à 5 mètres; leur traversée était lente, causait des encombrements et exigeait surtout des volumes d'eau considérables.

Pour obvier à ces défauts, il semblait que les hautes chutes ne pouvaient être franchies qu'à l'aide d'engins spéciaux : les ascenseurs et les plans inclinés.

Sous l'empire de ces idées, des ascenseurs ont été établis à Anderton (Angleterre), aux Fontinettes (France), à La Louvière (Belgique), et à Henrichenbourg (Allemagne) pour bateaux de 80 tonnes, 300 tonnes, 350 tonnes et 600 tonnes, et des hauteurs de chute de 15 m. 35, 13 m. 13, 15 m. 40 et 16 mètres environ; plus récemment, un ascenseur a été mis en exploitation à Péterborough (Canada) pour racheter une différence de niveau de 19 m. 825.

Les plans inclinés n'ont jusqu'ici fait l'objet que de projets très ingénieux pour les types et les tonnages des bateaux employés d'une manière courante dans la navigation intérieure du continent européen.

Bien que les ascenseurs solutionnent la question dans le cas de différences exceptionnelles de niveau à racheter sur une faible longueur lorsque les eaux alimentaires font défaut, un aléa important subsiste cependant encore à l'égard de ces engins mécaniques : quelle sera la durée de ces constructions complètement métalliques et particulièrement exposées aux agents destructifs?

Les ascenseurs établis sont de date trop récente pour émettre une opinion sur cette durée; il n'est toutefois pas téméraire d'affirmer, abstraction faite de toute autre considération et quels que soient les perfectionnements, les soins et les mesures préservatrices, que ces appareils métalliques ne se comporteront pas comme les maçonneries des écluses, et n'auront pas, comme celles-ci, une durée quasi illimitée moyennant des travaux d'entretien faciles et relativement peu importants.

Les progrès réalisés dans la construction des écluses à sas permettent maintenant de racheter aisément des hauteurs de 4 à 5 mètres et d'y écluser rapidement les bateaux sans dépenses exagérées des eaux alimentaires. Des dénivellations plus grandes sont même franchies actuellement par des écluses ne comportant ni appareils ni organes qui leur auraient fait perdre leur caractère distinctif de simplicité et de rusticité, notamment à Gleesen et à Munster (6 m. 20), à Bourgle-Comte (7 m. 20) et à la Vilette (9 m. 92).

Des projets de canaux intérieurs sont actuellement étudiés avec des écluses atteignant et dépassant même les hauteurs citées ci-dessus; parmi les plus récents, nous citerons les projets relatifs à la

transformation du « Ludwigkanal » de Kelheim à Bamberg (Bavière), au canal latéral au Main de Bamberg à Aschaffenburg et au canal latéral au Danube supérieur entre Kelheim et Ulm. Les écluses étudiées ont 5 m. 74 de chute pour des bateaux de 1,000 tonnes et 8 m. 27 à 10 mètres de chute pour des bateaux de 600 tonnes.

Ces quelques données nous ont paru utiles à rappeler pour montrer le chemin parcouru depuis 1885 dans la construction et la conception des écluses à sas considérées jusqu'alors comme des machines très imparfaites.

Travaux réalisés et en cours d'exécution sur le canal de Charleroi à Bruxelles pour racheter une chute de 64 m. 70 sur un parcours de 14,500 mètres.

Dans un mémoire présenté au Congrès international de Düsseldorf, nous avons exposé les conditions de transformation de ce canal en vue d'y permettre la navigation des bateaux de 350 tonnes; nous avons montré que la partie médiane de cette voie navigable présentait, sur un parcours de 16,000 mètres, une chute totale de 64 m. 55 rachetée par 28 écluses dont 11 de 2 mètres, 12 de 2 m. 40 et 5 de 2 m. 75.

Cette différence de niveau sera franchie sur une distance de 14,500 mètres, par 15 écluses de 5 m. 20 de largeur et 40 m. 80 de longueur utile, dont 7 de 4 m. 10 et 8 de 4 m. 50 de chute; les dispositifs de ces écluses ont été décrits dans le mémoire précité.

Le tableau ci-après indique ces ouvrages, la longueur des biefs qui les séparent, la retenue projetée dans chacun d'eux, les surfaces à la ligne de flottaison, les bassins régulateurs et les bassins alimentaires accolés à certains biefs avec leur superficie aux niveaux des flottaisons.

Les renseignements de ce tableau montrent l'importance des travaux réalisés et en cours d'exécution pour le rachat des chutes et font ressortir que la longueur des biefs est au moins égale à la distance que les bateaux peuvent parcourir durant le laps de temps nécessaire à la traversée des écluses; ils font ressortir en outre, d'une part, que les variations de flottaison des différents biefs ne peuvent guère dépasser 0 m. 10 sous l'action de trois sassées successives à l'écluse d'aval qui exigeront au maximum 3,200 mètres cubes d'eau sans la manœuvre des bassins d'épargne et, d'autre part, que l'alimentation se fera d'une manière automatique sans devoir recourir aux appareils des écluses, ce qui ne peut être qu'avantageux pour la marche régulière de la navigation.

Désignation des écluses et des biefs	Longueur des écluses et des biefs	Chute des écluses	Hauteur d'eau dans les biefs	SURFACE A LA LIGNE DE FLOTTAISON		Surface totale à la ligne de flottaison	NOTES DIVERSES
				des biefs	des bassins régulateurs et alimentaires		
Ecluse 13N .	m 61.90	m 4.10	m	m²	m²	m²	Toutes les écluses, sauf les nos 38N et 39N, sont munies de deux bassins d'épargne permettant d'économiser rapidement 44 0/0 du volume de l'éclusee. Les écluses de 61 m 90 de longueur ont un pont fixe établi sur leur tête aval.
Bief 13N . .	1 239.35		2.40	29,240	—	29,240	
Ecluse 15N .	58 10	4.10					
Bief 15N . .	1 064.30		2.40	28,785	—	28,785	
Ecluse 17N .	58 10	4.10					
Bief 17N . .	1 496 90		2.40	36,212	—	36,212	Ce bief reçoit les eaux d'un ruisseau alimentaire. A chacune des écluses, à partir du no 23N, est accolée une rigole régulatrice d'alimentation terminée, aux deux extrémités, par des pertuis de 2 m 00 de largeur
Ecluse 19N .	58 10	4.10					
Bief 19N . .	1,162 75		2.40	38,765	—	38,765	
Ecluse 21N .	61.90	4.10					
Bief 21N . .	1 088 80		2.40	28,106	—	28,106	
Ecluse 23N .	58.10	4.50					(1) Bief approfondi par suite de son étendue restreinte due a des circonstances locales
Bief 23N . .	1 001.89		2.40	25,940	—	25,940	
Ecluse 25N .	58 10	4.50					
Bief 25N . .	623.35		2.60 (1)	19,914	—	19,914	
Ecluse 27N .	58 10	4.50					
Bief 27N . .	769 30		2.40	26,972	7,208 (2)	34,180	(2) Les bassins alimentaires reçoivent les eaux de ruisseaux et augmentent en même temps la capacité et la superficie des biefs adjacents
Ecluse 29N .	58.10	4.50					(3) Les bassins régulateurs augmentent simplement la capacité et la superficie des biefs adjacents.
Bief 29N . .	799.36		2.40	33,774	16,076 (2)	49,850	
Ecluse 31N .	58.10	4.50					
Bief 31N . .	782 74		2.40	20,138	9,690 (3)	29,828	
Ecluse 33N .	61.90	4.50					
Bief 33N . .	985.00		2.40	29,905	—	29,905	Tous ces bassins sont mis en communication avec les biefs adjacents par deux aqueducs ayant chacun 2 m. 00 de largeur.
Ecluse 35N .	58 10	4.50					
Bief 35N . .	1 019 81		2.40	31,064	14,421 (2)	45,485	
Ecluse 37N .	58.10	4.50					
Bief 37N . .	807.34		2.40	26,057	19,537 (3)	45,594	
Ecluse 38N .	61.90	4.10					Sur la rive gauche des biefs nos 35N et 37N, sont établis deux grands bassins alimentaires cubant 100,000 m3 et 30,500 m3 dont les eaux se déversent dans les biefs nos 37N et 38N pour faire face à toutes les pertes d'eau du versant aval jusque Bruxelles d'une longueur de 34 kilomètres; c'est pour ce motif que les écluses nos 38N et 39N ne sont pas munies de bassins d'épargne.
Bief 38N . .	767.20		2.40	20,950	—	20,950	
Ecluse 39N .	61.90	4.10					
Totaux. .	14,498 59	64.70					

Cinq écluses de 4 m. 10 sont en exploitation depuis plus de deux ans; elles répondent au double but poursuivi d'assurer rapidement en toute sécurité le passage des bateaux et d'économiser en même temps 44 % du cube d'eau nécessaire à chaque sassée, c'est-à-dire 425 mètres cubes sur 980 mètres cubes.

Les travaux des autres écluses sont en cours d'exécution actuellement.

La caractéristique des écluses établies réside dans les deux bassins d'épargne de même superficie que le sas, disposés en éventail sur un des plateaux; ces bassins peuvent recevoir des tranches d'eau de 0 m. 95 et de 0 m. 825 sous des hauteurs de pressions finales de 0 m. 205 et de 0 m. 518 et les restituer ensuite au sas avec des hauteurs de pressions finales de 0 m. 20 et de 0 m. 278.

Les dispositions adoptées sont simples et rustiques et ne comportent aucun mécanisme complexe; elles sont en outre économiques puisqu'elles ne donnent lieu par écluse qu'à une dépense supplémentaire de 24,100 francs.

De nombreuses observations ont démontré que le sasement d'un bateau descendant ou montant se fait en quinze minutes environ lorsqu'on n'emploie pas les bassins d'épargne; le fonctionnement de ceux-ci augmente ces durées de deux minutes à peine, bien que cette manœuvre n'utilise que l'aqueduc longitudinal du bajoyer adjacent à ces bassins.

Dans ces durées, l'approche, l'entrée, la sortie et l'éloignement des bateaux jusque 50 mètres de l'ouvrage interviennent pour 10 1/2 min., la traction se faisant par un cheval. Ces manœuvres pourraient évidemment être accélérées par l'emploi de cabestans électriques; il est certain que ces engins mécaniques permettraient de gagner trois minutes au moins si l'intensité du trafic justifiait pareilles installations.

Les opérations de vidange et de remplissage du sas nécessitent trois ou cinq minutes selon que l'on ne recourt pas aux bassins ou que l'on fait fonctionner ceux-ci.

Ces laps de temps relativement courts pour les manœuvres d'eau sont atteints grâce, d'une part, aux dimensions des vannes cylindriques employées qui ont 1 m. 40 de diamètre et une levée de 0 m. 38 et, d'autre part, au tracé rectiligne, aux sections et dispositifs adoptés pour les puits (2 m. 40 de D), pour les aqueducs longitudinaux $\left(\frac{1 \text{ m. } 00}{1 \text{ m. } 70}\right)$ et pour les quatre branchements transversaux $\left(\frac{0 \text{ m. } 80}{0 \text{ m. } 75}\right)$ ménagés dans chaque bajoyer; le plan d'eau s'abaisse ou s'élève dans le sas avec une vitesse moyenne de 0 m. 0234 sans provoquer aucun mouvement oscillatoire dangereux pour les bateaux qui ne s'amarrent même pas pendant ces opérations.

L'approfondissement de 0 m. 50 du radier du sas et la forme en voûte renversée adoptée pour ce radier laissent un matelas d'eau d'au moins 0 m. 80 sous la quille des bateaux chargés, circonstance des plus favorables pour amortir les chocs et la vitesse des eaux; avec ce dispositif, les bateaux ne courent aucun danger en admettant même que les eaux s'abaissent ou s'élèvent avec une vitesse de 0 m. 05 par seconde surtout si l'on a soin de lever simultanément soit les vannes d'aval, soit les vannes d'amont, et d'augmenter le nombre de pertuis entre le sas et les aqueducs longitudinaux.

L'adoption de vannes cylindriques de 2 mètres de diamètre et de 0 m. 50 de levée, d'aqueducs longitudinaux de $\frac{1 \text{ m. } 40}{2 \text{ m. } 40}$ et de 8 branchements transversaux de $\frac{0 \text{ m. } 80}{0 \text{ m. } 75}$ entre chaque aqueduc et le sas, accélérerait notablement les manœuvres d'eau et diminuerait les temps supplémentaires nécessaires au fonctionnement des bassins d'épargne.

Ces améliorations, complétées par les installations électriques nécessaires pour assurer d'une cabine centrale la manœuvre de tous les appareils, réduiraient de cinq minutes au moins la durée totale des sassements avec emploi des bassins d'épargne, cet emploi n'exigeant d'ailleurs plus qu'un temps supplémentaire de 1 min. 30 sec. au maximum; on arriverait ainsi à effectuer le passage d'un bateau descendant ou montant de 50 mètres en amont jusque 50 mètres en aval d'une écluse de 4 m. 10, en 12 minutes tout en ayant économisé 44 % du volume de la sassée.

Nous avons dit ci-dessus que la manœuvre des bassins d'épargne n'utilise qu'un des deux aqueducs longitudinaux de vidange et de remplissage.

Des dispositifs ont été réalisés sur certaines voies navigables pour employer ces deux aqueducs. A cette fin, une des deux vannes d'amont sert uniquement au remplissage du sas et une conduite ménagée sous le radier de la chambre des portes d'amont établit la communication entre les deux aqueducs; l'autre vanne d'amont dessert l'un des bassins d'épargne.

A notre avis, ce dispositif n'est pas recommandable; les deux aqueducs ne sont, en effet, pas utilisés dans les mêmes conditions de rendement soit pour le remplissage du sas, soit pour l'usage des bassins.

Pour faire servir les deux aqueducs longitudinaux pendant la manœuvre des bassins d'épargne, il est indispensable de prévoir le dédoublement de ceux-ci sur les deux rives; cette multiplicité de bassins n'enlève rien à la simplicité de tout l'ouvrage et s'accommode

parfaitement avec un trafic important, surtout si les manœuvres des vannes sont assurées par l'électricité.

Nous croyons toutefois, en présence des durées constatées aux écluses du canal de Charleroi, que ce dédoublement ne produirait pas d'effet appréciable sur la durée des sassemments des bateaux de 350 tonnes et qu'on ne doit y avoir recours que pour des écluses de plus grandes dimensions comme celle de Munster qui livre passage à des bateaux de 600 tonnes et dont le sas a une longueur de 72 m. 50 et une largeur de 8 m. 60.

A ce dernier ouvrage, qui rachète une chute de 6 m. 20, tous les appareils de manœuvre sont commandés par des moteurs électriques dont la force motrice est engendrée par cette grande chute actionnant une turbine; d'après les constatations faites, un éclusage complet n'exige pas même neuf minutes, ce qui confirme les résultats indiqués précédemment pour les durées des manœuvres.

Il n'est pas douteux que les dispositifs des écluses de 4 m. 10 et de 4 m. 50 du canal de Charleroi peuvent être appropriés à des chutes beaucoup plus fortes atteignant même 8 et 10 mètres sans perdre leur caractère de rusticité et de simplicité dans les manœuvres. Les améliorations décrites ci-dessus s'imposeraient alors forcément pour ne pas augmenter, d'une manière sensible, les durées des sassemments, surtout si l'on voulait porter à 66 %, au lieu de 44 %, le volume des eaux économisées à chaque éclusage; ce dernier résultat serait aisément atteint par l'établissement de 4 bassins d'épargne, deux sur chaque rive, dont la manœuvre exigerait 3 minutes au maximum.

D'autre part, la durée du remplissage ou de la vidange du sas n'augmentant pas proportionnellement avec la chute, ne serait allongée que de 2 minutes environ pour une différence de niveau rachetée de 10 mètres.

Toutes ces données, basées sur les constatations pratiques faites aux écluses établies, démontrent qu'il est parfaitement possible de faire franchir à un bateau, en quinze minutes, des écluses de 8 à 10 mètres de chute tout en réduisant de 66 % leur consommation d'eau; le volume d'eau dépensé correspondrait donc à celui d'écluses ordinaires de 2 m. 70 à 3 m. 40 de chute.

Capacité de fréquentation des voies navigables et utilisation du matériel de la batellerie.

La traversée des écluses de 4 à 5 mètres de chute construites d'après les derniers perfectionnements peut se faire en 12 minutes avec une économie de 44 % du volume de la sassée; celle des

écluses de 8 à 10 mètres est possible en 15 minutes avec une économie de 60 % du même volume.

Le temps nécessaire à un bateau pour franchir les ascenseurs établis varie de 15 à 20 minutes ; ces appareils réduisent donc dans une certaine mesure la capacité de fréquentation de la voie navigable, mais, par contre, ils sont plus avantageux aux intérêts de la batellerie en ce sens qu'ils permettent de franchir, dans un laps de temps légèrement supérieur, des hauteurs variant du double au quadruple ; les bateaux mettront donc moins de temps, toutes autres conditions égales, pour parcourir une voie navigable desservie par des engins de ce genre.

Les avantages à en résulter n'ont cependant pas une importance telle qu'ils doivent entrer en ligne de compte pour fixer le choix à faire entre les écluses et les ascenseurs.

Considérons en effet un canal de 250 kilomètres de longueur dont le bief de partage soit à 128 mètres et à 80 mètres en contre-haut des centres à desservir et admettons que ces hauteurs soient rachetées par 13 ascenseurs de 16 mètres ou par 26 écluses de 8 mètres de chute.

La traversée des 13 ascenseurs exigera au minimum 195 minutes, tandis que celle des 26 écluses durera au maximum 390 minutes.

Toutes autres conditions égales, les ascenseurs procureront donc une avance qui atteindra au maximum 3 h. 15 m., alors que la traversée d'un tel canal demandera, abstraction faite de ces ouvrages, 60 heures environ.

A notre avis, cette économie de temps ne peut exercer une influence appréciable sur les prix et sur le rendement des transports.

Volumes des eaux nécessaires pour franchir les ouvrages rachetant les grandes différences de niveau. Dispositions projetées pour réduire les grandes dépenses d'eau des écluses et pour y remédier.

Le seul avantage sérieux que l'on puisse invoquer pour les élévateurs mécaniques employés au rachat des grandes chutes réside dans le volume d'eau restreint qu'ils exigent pour le passage des bateaux ; ce volume est indépendant de la hauteur franchie.

Ainsi à l'ascenseur hydraulique de La Louvière, chaque manœuvre ne dépense que 205 mètres cubes d'eau pour une chute de 15 m. 40 alors que les écluses pour la navigation de bateaux de 350 tonnes, nécessitent 239 mètres cubes par mètre de chute rachetée.

Ce défaut des écluses fut reconnu dès leur invention et préoccupa

déjà les techniciens de l'époque qui s'intéressaient au développement des canaux.

La première application pour y remédier fut faite, pensons-nous, en Belgique lors de l'établissement, en 1643, de l'écluse de Boesinghe sur le canal d'Ypres à l'Yser ; deux bassins furent accolés à cet ouvrage de 6 m. 50 de chute pour économiser le tiers de l'éclusee.

Cette tentative ne fut renouvelée que longtemps après sur quelques autres canaux belges, mais le système ne se propagea guère parce qu'il ne s'accommodait pas avec une navigation active et qu'il donnait lieu à des dépenses considérables.

Les dispositions réalisées pour les deux bassins de chacune des nouvelles écluses du canal de Charleroi font disparaître ces inconvénients.

Ces dispositions simples sont parfaitement susceptibles d'être appropriées, sans perdre leur caractère, pour être appliquées à des écluses de 8 à 10 mètres, tout en n'augmentant pas sensiblement la durée totale des manœuvres de l'éclusage et en réduisant le volume d'eau dépensé à celui nécessaire à des écluses de 2 m. 70 à 3 m. 40 de chute.

Les économies d'eau pratiquement réalisables par des bassins d'épargne accolés aux écluses peuvent encore être insuffisantes pour aider au développement des canaux dans des contrées à ressources aquifères très limitées ; des recherches et études ont été tentées depuis longtemps déjà pour augmenter ces économies et même pour annuler complètement, si possible, toute consommation d'eau aux écluses.

Tout le monde connaît les appareils imaginés à cette fin par les ingénieurs français Bétancourt (1807) et Girard (1843) et par l'ingénieur anglais Busby (1813), dans lesquels un flotteur simple ou à compartiments superposés plongeant dans un bassin latéral au sas, permettait, par son mouvement de descente ou de montée, de refouler ou d'aspirer le volume d'eau voulu pour y établir le niveau du bief amont ou celui du bief aval.

S'inspirant des idées de ces techniciens, M. Schnapp, Inspecteur Royal des travaux hydrauliques, à Berlin, a préconisé au Congrès de Düsseldorf, un système très ingénieux permettant, à l'aide d'un flotteur divisé en compartiments recevant les eaux contenues dans des réservoirs latéraux, de faire varier à volonté le niveau des eaux dans le sas sans emprunt au bief d'amont. M. Schnapp a établi dans son mémoire que, pour une écluse de 12 m. 50 de chute recevant des bateaux de 600 à 800 tonnes et exigeant 8,500 mètres cubes pour le sasement, l'application de son système ne demanderait que 97 mètres cubes d'eau par manœuvre ou une force motrice produite par une machine de 45 chevaux de puissance effective.

Dans le même ordre d'idées, on ne peut passer sous silence le

dispositif imaginé par l'ingénieur français Burdin en 1830, pour appliquer aux écluses le principe du double siphon. A côté de l'écluse et en communication avec le sas, était placée une cuve circulaire recouverte par une charpente dont les piliers de support traversaient un piston suspendu et mobile dans la cuve; l'écoulement dans un sens ou dans l'autre se faisait par l'addition ou la soustraction d'une très petite tranche d'eau dans l'écluse.

M. Nyssens-Hart, Ingénieur en chef honoraire des Ponts et Chaussées, à Bruxelles, a repris le même principe en substituant au piston suspendu, un piston soutenu et équilibré sur lequel il provoque les modifications de pressions voulues pour produire le mouvement de va-et-vient de l'eau entre le sas et une cuve circulaire de même superficie que celui-ci. Ce technicien a dressé un projet, complètement et parfaitement étudié pour une écluse de 5 m. 20 de largeur et de 5 mètres de chute devant livrer passage à des bateaux de 350 tonnes, qui a paru dans les *Annales des Travaux publics* de Belgique de 1887; cette étude, très documentée et très intéressante, arrive à la conclusion que le sasement n'exigerait que 39 mètres cubes d'eau environ.

Ce résultat, comme celui accusé par M. Schnapp, serait certes très remarquable au point de vue des ressources alimentaires, si la réalisation pratique de ces projets ne soulevait pas d'objections.

Selon nous, ces combinaisons si séduisantes à première vue, ont le grave inconvénient de transformer les écluses en leur enlevant le caractère de simplicité et de rusticité, d'exiger pour leur manœuvre des organes mobiles et délicats semblables si pas identiques à ceux des ascenseurs et qui, partant, soulèvent les mêmes objections au point de vue de l'usage et de l'exploitation; la manœuvre de tels engins ne pourrait plus être confiée à des agents souvent ignorants et presque toujours insouciantes et exigerait, comme celle des ascenseurs, un personnel spécial et expérimenté.

Nous craignons enfin que toutes ces combinaisons très ingénieuses, que des appareils et expériences de cabinet ont pu confirmer, qui font, du reste, honneur à leurs auteurs, ne réservent beaucoup de déceptions si elles étaient appliquées à de grands appareils. En tous cas, des installations semblables donneront lieu à des frais de premier établissement, d'entretien et d'exploitation beaucoup plus élevés que les écluses les plus perfectionnées tout en ne présentant pas la même sécurité que ces dernières pour les voies navigables desservies.

Faut-il chercher dans des transformations de ce genre à réduire ou à supprimer la consommation d'eau aux écluses?

Nous ne le pensons pas et nous estimons qu'il est possible de

perfectionner encore et de compléter les écluses à sas, en vue d'annihiler cette consommation d'eau tout en conservant à ces engins des mécanismes robustes et peu compliqués, eu égard aux progrès de la science moderne.

La planche annexée à ce rapport représente une écluse de 4 m. 50 de chute pour bateaux de 350 tonnes avec deux bassins d'épargne accolés permettant d'économiser 475 mètres cubes sur 1,075 mètres cubes, munies de vannes cylindriques, d'aqueducs longitudinaux et de branchements latéraux de sections suffisantes pour réduire au minimum la durée des manœuvres d'eau des sassements.

Ces appareils sont capables de desservir un trafic important du moment que la longueur des biefs est telle que les bateaux peuvent, sans s'arrêter, les parcourir pendant le laps de temps nécessaire pour franchir les chutes.

Une navigation journalière de 40 bateaux, dont les trois quarts chargés de 350 tonnes, la moitié se croisant aux écluses et l'autre moitié se suivant dans un sens et dans l'autre, peut aisément se faire en huit heures ou en dix heures selon que les bassins d'épargne ne seront pas ou seront utilisés; cette circulation correspond à un trafic journalier de $30 \times 350 \text{ T.} = 10,500$ tonnes, soit un tonnage annuel de 3,150,000 tonnes pour 300 jours de navigation.

Un tel mouvement exigera journellement à chaque écluse 32 mille 250 mètres cubes pour les sassées; cette consommation d'eau sera ramenée à 18,060 mètres cubes par la manœuvre des bassins.

Si les ressources alimentaires sont trop limitées pour comporter une telle dépense journalière d'eau, ou si les difficultés de se procurer les eaux nécessaires sont trop grandes ou trop onéreuses, il nous paraît facile et pratique de compléter les écluses par des installations capables de relever les eaux déversées de l'amont à l'aval.

A cette fin, sous une chambre ménagée dans le mur en retour d'aval, sera établi un puisard en communication directe avec le bief d'aval; deux pompes centrifuges installées dans cette chambre au niveau de la banquette et actionnées par des dynamos, pourront élever chacune en douze heures, la moitié du volume total dans une conduite de refoulement en béton armé de 1 mètre de diamètre longeant le bajoyer et aboutissant à un déversoir de superficie construit dans le mur en retour d'amont à 0 m. 20 en contre-haut du niveau normal de flottaison.

Ce dispositif a pour avantage, en cas d'arrêt des pompes, d'isoler complètement celles-ci du bief d'amont; avec une conduite de déversement noyée, cet isolement ne pourrait être obtenu que par des ventelles qui ne présenteraient pas autant de sécurité.

Des bondes de fond, fermées par des clapets, seront placées, d'une part, sous le dit déversoir pour permettre le remplissage de la conduite et l'amorçage des pompes, et, d'autre part, entre le réservoir de refoulement et le puisard aval pour assurer la vidange complète de tout le système; des robinets-vannes empêcheront toute communication entre le dit réservoir et l'une ou l'autre pompe et une ventellerie permettra d'isoler le puisard du bief d'aval.

Les dynamos seront placées dans un petit pavillon érigé sur le plateau de l'écluse; toutes les manœuvres pourront être concentrées dans cette cabine, ce qui sera avantageux pour leur accélération, l'agent ne perdant plus de temps pour se transporter d'un appareil à l'autre en vue des diverses opérations qu'il doit faire. Des indicateurs de niveau, d'une installation facile, permettront au dit agent de se rendre compte du niveau des eaux dans les biefs, le sas et les bassins d'épargne et de toutes les fluctuations qui se produiront.

Les appareils électriques seront ainsi établis dans de parfaites conditions de visite, de conservation et d'entretien.

La planche ci-jointe représente l'ensemble de ces installations dont nous allons calculer les frais annuels d'exploitation.

Chaque groupe d'appareils devra débiter à la seconde

$$\frac{18,060}{2 \times 12 \times 60 \times 60} = 209 \text{ litres environ.}$$

La vitesse des eaux dans l'aqueduc d'amenée de 3 m² 57 de section sera $\frac{0.418}{3 \text{ m}^2 57} = 0 \text{ m. } 117$, c'est-à-dire insignifiante au point de vue de la marche des bateaux.

La nappe déversante étant supposée de 0 m. 15 de hauteur, la largeur du déversoir amont est donnée par $l = \frac{Q}{2,953 \times 0 \times H^{3/2}} = \frac{0.418}{2,953 \times 0.665 \times \sqrt{0.15^3}} = \frac{0.418}{0.114} = 3 \text{ m. } 66$.

En adoptant une largeur de 4 mètres, la vitesse d'arrivée des eaux dans le bief amont sera $\frac{0.418}{4.00 \times 0.15} = 0 \text{ m. } 70$ environ; ces eaux se répandront en ondes superficielles dont l'amplitude sera rapidement atténuée au point de ne provoquer aucun inconvénient pour la marche des bateaux.

Dans la conduite de refoulement, la vitesse des eaux atteindra au maximum $\frac{0.418}{\pi R^2} = \frac{0.418}{0.785} = 0 \text{ m. } 53$. Les pertes de charge dans cette conduite et dans les tuyaux d'aspiration et de refoulement des pompes seront de 0 m. 10 au maximum. En admettant des variations de 0 m. 20 dans chaque bief en plus ou en moins de la tenue normale,

la hauteur maximum d'élévation des eaux sera de $0 \text{ m. } 20 + 4.50 + 0.10 + 0.20 + 0.15 = 5 \text{ m. } 15$.

La puissance en eau montée de chaque groupe sera par seconde $209 \times 5.15 = 1,071 \text{ km. } 35$. En marche normale, les pompes centrifuges ont un rendement de 0.6 ; le nombre de kilogrammètres à fournir par chaque dynamo sera par seconde : $\frac{1,071 \text{ km. } 35}{0.6} = 1.785 \text{ km.}$

Les dynamos peuvent être construites et établies de manière à donner un rendement d'au moins 80 % ; dans ces conditions, la force à leur fournir en km par seconde sera $\frac{1,785}{0.80} = 2,231 \text{ km}$ ou en watts de $2,231 \times 9 \text{ w. } 81 = 21,886 \text{ w. } 11$, soit, en chiffres ronds, 21 kilowatts 89.

La consommation d'énergie de chaque réceptrice, pour un laps de temps de douze heures, correspondra donc à $21 \text{ kw. } 89 \times 12 \text{ h. } = 262 \text{ kwh. } 68$, soit pour les deux groupes 525 kwh. 36.

Les progrès réalisés par la science, tant pour l'établissement et l'installation de grandes usines centrales électriques utilisant du combustible que pour le transport à haute tension de l'énergie électrique à de grandes distances, permettent d'obtenir actuellement le kilowattheure à raison de fr. 0.06 sur l'arbre des dynamos ; ce prix serait même notablement moindre si l'on disposait dans la contrée traversée de forces naturelles assez puissantes et aisément utilisables pour produire l'énergie électrique nécessaire.

Quoi qu'il en soit, la dépense maximum journalière, dans la situation actuelle des stations centrales électriques au charbon, sera de $525 \text{ kwh. } 36 \times 0.06 = \text{fr. } 31.52$ pour les deux groupes d'appareils de chaque écluse.

Appliquons le système préconisé à une voie navigable comportant une chaîne de 15 écluses rachetant une différence de niveau de 64 m. 70 et faisons la comparaison au point de vue des dépenses avec une voie navigable où la même dénivellation serait franchie par 4 ascenseurs de 16 m. 175 de chute chacun.

La dépense journalière du relevage des eaux de sasement aux écluses s'élèvera à $31.52 \times 15 = \text{fr. } 472.80$; la dépense annuelle atteindra de ce chef pour les 300 jours de navigation 141,840 francs, soit les intérêts d'un capital de 4,728,000 francs.

Cette hypothèse est tout à fait limite, car il est peu probable que l'on rencontre des contrées où les périodes de grande pénurie d'eau aient une pareille durée.

D'autre part, les ascenseurs exigeront chacun au moins une dépense d'eau de 205 mètres cubes par manœuvre, soit par jour un volume, s'écoulant de l'amont vers l'aval, de 6,150 mètres cubes.

Si pareille dépense d'eau était admise aux écluses, les frais journaliers de relevage des eaux seraient réduits de $\frac{\text{fr. } 472.80 \times 6,150}{18,060}$

= 161 francs et ramenés à fr. 311.80; les frais annuels ne s'élèveraient plus qu'à 93,540 francs, soit les intérêts d'un capital de 3,118,000 francs.

Au point de vue des frais de premier établissement, les écluses avec tous les perfectionnements décrits ci-dessus coûteront 250,000 francs chacune, y compris les pompes et accessoires, les dynamos, les transformateurs, les tableaux de distribution, etc., soit donc une dépense totale de $250,000 \times 15 = 3,750,000$ francs; les 4 ascenseurs occasionneront au moins une dépense de 6,000,000 de francs, soit 2,250,000 francs en sus du coût des écluses.

A cette différence, il faut ajouter les frais naturellement plus élevés d'établissement du canal entre les ascenseurs, ces fortes chutes conduisant, dans la généralité des cas, à des déblais et à des remblais plus importants et ne permettant pas de suivre le relief du terrain naturel comme on peut le faire avec les chutes moindres des écluses.

Le cadre du présent rapport ne nous permet pas de nous étendre plus longuement sur ce point ni sur celui des frais d'entretien et d'amortissement des appareils qui seront certainement beaucoup plus élevés pour les ascenseurs que pour les écluses.

Les chiffres indiqués ci-dessus sont, à notre avis, suffisants pour démontrer que la solution des ascenseurs est notoirement inférieure à celle des écluses outillées pour relever complètement toutes les eaux nécessaires aux sassements, non seulement au point de vue financier, mais aussi au point de vue des ressources alimentaires.

Cette infériorité serait plus manifeste encore si la différence de niveau considérée était rachetée par 8 écluses de 8 m. 09 de chute, munies chacune de 4 bassins d'épargne pouvant économiser 66 % de chaque sassée.

Des calculs analogues à ceux développés ci-dessus montrent que le mouvement journalier de navigation considéré exigerait 58,020 mètres cubes pour les sassées; la manœuvre des bassins ramènerait ce cube à 19,740 mètres cubes à relever par les deux groupes d'appareils en 12 heures, soit un débit par seconde et par groupe de 228 litres.

La consommation d'énergie de chaque réceptrice en 12 heures correspondrait à 492 kwh. 12, soit pour les deux groupes 984 kwh. 24 donnant une dépense de 59 fr. 05 pour le relevage des eaux à chaque écluse; la dépense totale journalière aux 8 écluses atteindrait 472 fr. 40 et pour 300 jours de navigation elle s'élèverait à 141,720 francs, soit les intérêts d'un capital de 4,724,000 francs.

Si on admettait à ces écluses de 8 m. 09 la même dépense d'eau qu'aux ascenseurs, les frais de relevage des eaux ne seraient plus que 323 fr. 42 par jour et 97,026 fr. par an, soit les intérêts d'un capital de 3,234,200 francs.

Les 8 écluses de 8 m. 09 coûteront, comme frais de premier établissement, 3,120,000 francs, c'est-à-dire 630,000 francs de moins que les 15 écluses considérées en premier lieu et 2,880,000 francs en moins que les 4 ascenseurs.

Les écluses à sas complétées dans l'ordre d'idées exposées sommairement ci-dessus constitueront encore des engins simples et robustes ne comportant aucun appareil délicat ni difficile à remplacer ; leur manœuvre pourra être aisément assurée, sans l'aide d'un personnel spécial, par des éclusiers ordinaires parfaitement à même de lancer le courant électrique dans les différents moteurs et de graisser les divers organes comme ils le font d'ailleurs aux écluses actuelles.

Le prix du mètre cube d'eau relevé dans les exemples considérés ressortirait, d'après les données ci-dessus, à fr. 0.025.

Conclusions.

Les considérations qui précèdent montrent qu'il est possible d'établir des écluses à sas de 8 à 10 mètres de chute ne comportant aucune complication d'organes délicats à manœuvrer, tout en économisant rapidement 66 % du volume de la sassée.

Ces écluses, de même que celles de 4 à 5 mètres de chute, peuvent être aisément complétées par des installations mécaniques simples et robustes, actionnées par l'électricité, et capables de relever, de l'aval à l'amont, dans des conditions économiques satisfaisantes, la partie non économisée du volume de l'éclusage.

Au point de vue des ressources alimentaires, la solution des écluses ainsi agencées est la plus recommandable ; dans la généralité des cas, elle sera supérieure, au point de vue financier, à celle comportant des ascenseurs verticaux pour racheter les grandes différences de niveau dans la construction des voies navigables artificielles.

Bruxelles, le 31 décembre 1904.

EM. LEFEBVRE.

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

ASSOCIATION INTERNATIONALE PERMANENTE
DES
CONGRÈS DE NAVIGATION

X^e CONGRÈS - MILAN - 1905

I. Section : Navigation Intérieure
3. Question

RAPPORT
PAR
EM. LEFEBVRE

ASSOCIATION INTERNATIONALE PERMANENTE
DE
CONGRES DE NAVIGATION

X^e CONGRÈS - MILAN - 1903

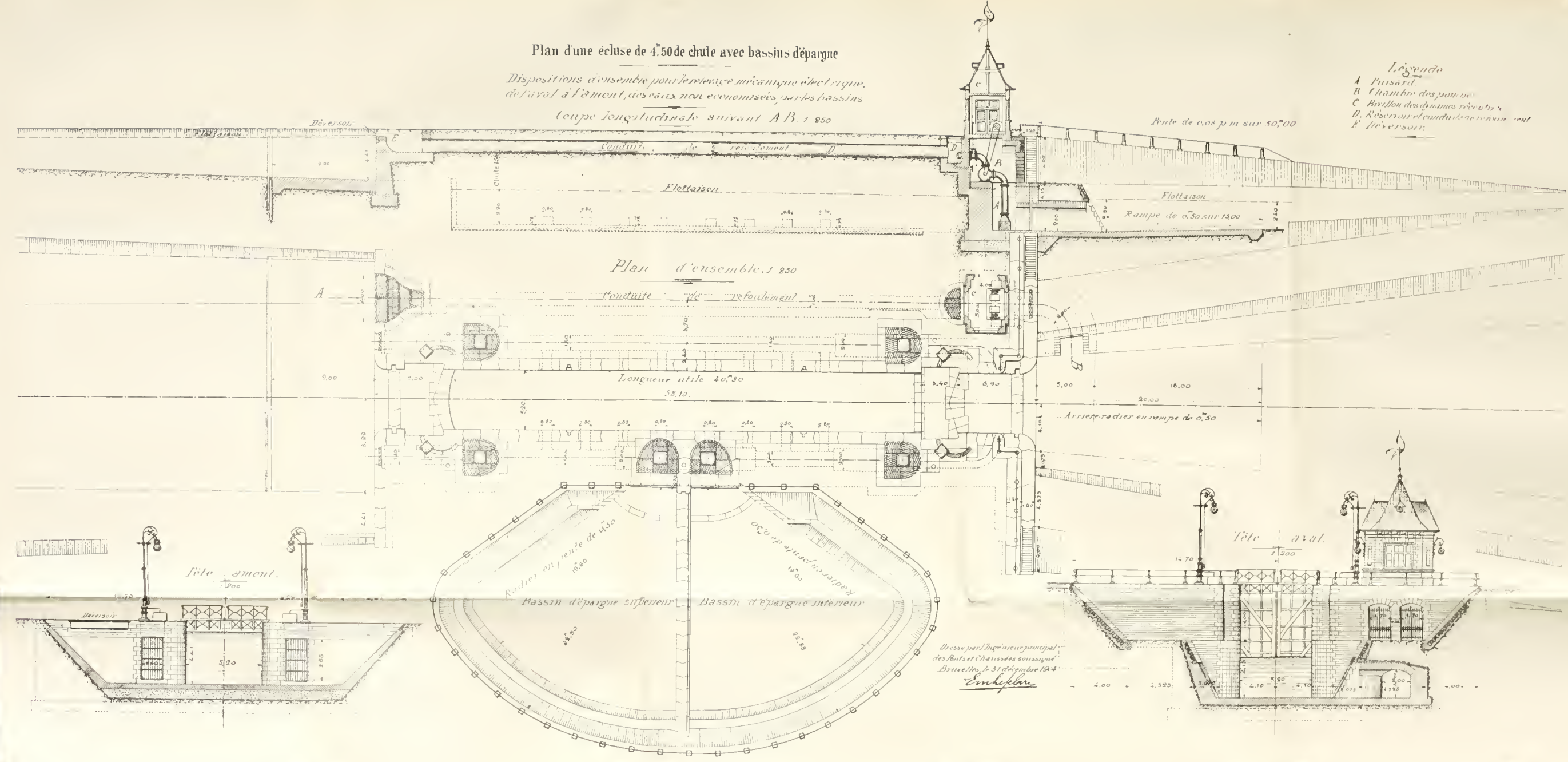
I Section : Navigation Intérieure
3. Question

RAPPORT
PAR
EM. LEFEBVRE

Plan d'une écluse de 4,50 de chute avec bassins d'épargne

Dispositions d'ensemble pour le relèvement mécanique électrique,
de l'aval à l'amont, des eaux non économisées par les bassins

Coupe longitudinale suivant A B. 1/250



Dessé par l'ingénieur principal
des Ponts et Chaussées sousigné
Bruxelles le 31 décembre 1904
Emile Plan

PERMANENT INTERNATIONAL ASSOCIATION
OF
NAVIGATION CONGRESSES

X. CONGRESS - MILAN - 1905

I. Section : Inland Navigation
3. Question

INVESTIGATION OF THE METHODS BEST SUITED

FOR

Surmounting great Differences of Level
BETWEEN THE REACHES OF CANALS

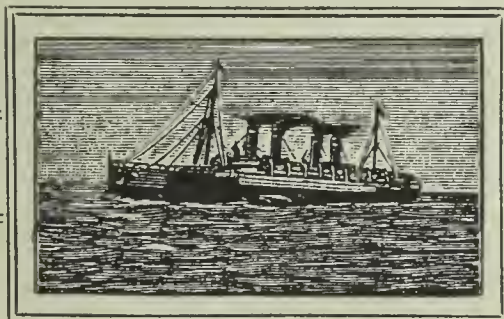
REPORT

BY

Thomas W. SYMONS

*Lieut. Colonel Corps of Engineers U. S. Army, Member Am. Soc. Civ. Engineers,
Member Advisory Board of Consulting Engineers on Improvement of the Canals of New-York State.*

NAVIGARE



NECESSE

BRUSSELS

PRINTING OFFICE OF THE PUBLIC WORKS (CO. LTD.)
18, Rue des Trois-Têtes, 18

1905

MECHANICAL LIFT LOCKS IN AMERICA

REPORT

BY

Thomas W. SYMONS

Lieut. Colonel Corps of Engineers U. S. Army, Member Am. Soc. Civ. Engineers
Member Advisory Board of Consulting Engineers on Improvement of the Canals of New-York State

During the past few years canal building in America has received quite an impetus. The United States has acquired the old Panama canal from its former owners and has appropriated the requisite funds and set vigourously to work to complete it in the shortest time possible, besides building numerous canals in different sections of the United States. Canada, besides some smaller systems, has completed her Welland and St. Lawrence system of canals, advanced materially toward completion the Trent system of canals, and, it is understood, has practically decided to build a ship canal from Georgian Bay via Lake Nipissing and the Ottawa River to the lower St. Lawrence. The United States and Canada have built three great locks at the Sault Ste Marie to connect Lake Superior with Lakes Michigan and Huron, Chicago has completed its great drainage and ship canal, and the State of New York has entered upon the enormous work of reconstructing and enlarging her system of canals, the Erie, Oswego and Champlain canals, connecting respectively Lake Erie, Lake Ontario and Lake Champlain with the Hudson River and through it with the seaboard at New York City.

At Panama the exact location and character of the canal, whether sea level or high level, has not as yet been fully determined upon, but the locks, if there shall be any, will in all probability be of the ordinary type with a width of 100 feet, length of 1,000 feet and depth of 35 feet.

The locks built by the United States government throughout the country have been of the ordinary type and of various sizes suitable to the navigation benefitted.

The St. Lawrence canals, which with the Welland canal,

enable vessels to pass from the Great Lakes to the lower St. Lawrence at Montreal, have locks of the ordinary type practically the same size as those of the Welland canal connecting Lakes Erie and Ontario, i. e., width 45 feet, length 270 feet and depth 14 feet. Some of the St. Lawrence locks are made 800 feet long for the purpose of passing rafts and tows of vessels at one lockage. On the Trent canal most of the locks are of the ordinary type 33 feet wide, 134 feet long, and with depths of 6 to 8 feet. At one point on this canal, however, there has been built a hydraulic lift lock which is now in successful operation and which has the distinction of being the highest lift lock in the world. This lock will be described hereafter in this paper.

Before New-York State finally committed itself to the enlargement of its canals, a survey with plans and estimates of the cost of the work was required. In the making of these plans and estimates a great deal of consideration was given to the subject of high mechanical lift locks, particularly at two places on the Erie Canal — Lockport and Cohoes.

At Lockport there is an abrupt change of elevation in the present Erie Canal of 56 feet which is overcome by a double flight of five locks. The proposition considered here for the enlarged canal was to substitute a single mechanical lift lock for the present ten locks.

On the existing canal at Cohoes there are 16 locks to overcome the difference of level between the Hudson and the Mohawk above Cohoes Falls. These locks known as "The Sixteens" are quite near together but are separated by lengths of canal forming basins. Here it was proposed to make a change of location and put in a single lift lock with a lift of 112 to 121 feet, the variation depending on the height of the dam to be built above the Cohoes Falls.

It was claimed by the advocates of mechanical lift locks at both these places that they would be cheaper to build and to operate than locks of the ordinary type, that it would take less time for the passage of boats and would require very much less water. As water for power at both points is valuable for manufacturing purposes this latter claim was important.

So important was the subject of locks at these two places that the State Engineer of New York, at that time Mr. E. A. Bond, appointed a special board of engineers to consider it. The writer was a member of the Board. This board directed its attention particularly to the lift at Cohoes because at this

point there is the greatest and most abrupt change of level in the whole line of canal and therefore the most favorable site for using a mechanical lift lock. At the time that the board met the change of level proposed for the lift was 112 feet. The locks prescribed for the improved canals were, in the clear, 310 feet long, 28 feet wide and with 12 feet depth of water.

To accomplish the required lift of 112 feet with a single structure three kinds of mechanical locks were suggested. The central principle of them all consisted in the counterbalancing one against the other of two tanks of the size above given for locks, each tank capable of containing and floating two boats of 1,000 tons freight capacity, with auxiliary devices to control their vertical motions through the prescribed amplitude of the lift.

Besides this primary function of vertical movement in unison between the two levels, the three kinds of lifts each provided devices and apparatus for closing and opening communication between the tanks and the upper and lower levels, for keeping the tanks constantly horizontal and for bringing them to rest without shock. Although each typical plan presented its own details for these appliances, the closing and connecting details in the nature of gates and gaskets did not in any way belong necessarily to the type, but any one of them could be applied to any type of lift lock.

The three types differed essentially in the medium through which the balancing was effected ; in the first type the medium was *air* ; in the second it was a *set of cables* ; in the third it was *water*.

The *air* type examined was the Dutton pneumatic lift lock. In this design the counterbalance is effected by columns of compressed air confined in air chambers under each tank, intercommunicating at the bottom through air supply pipes which also communicate with an air accumulator and compressor. Each tank is supported on an inverted caisson which rises and falls in a fixed pool of water, which water seals the air in the caisson. These air chambers support the lock tanks by their buoyancy and displace a volume of water equal to their own weight together with that of the loaded tank, and to insure the water seal, they must be made so high that the bottom edge will remain submerged in the water of the lower pool to a depth greater than their displacement when the lock tank which they support and to which they are attached is raised to communicate with the upper level ; this requires

pits of a corresponding depth in the lower pool. As designed by the inventor, the air chambers and tanks have approximately the same horizontal area; giving for locks of the enlarged canal a vertical displacement of about 20 feet and requiring pits about 140 feet deep, for a lock of 112 feet lift. These pits would have to be excavated about 325 feet long and 35 feet wide and kept free for the up and down movement of the tanks.

In the second type of lock examined by the Board the companion lock tanks were held in counterbalance by wire or chain cables passing over wheels or drums supported on steel towers. Mr. W. R. Davis submitted a carefully worked out plan and estimate for this type covering the Cohoes site.

Neither of these two types of locks, the pneumatic and the chain balancing, had reached the experimental stage, being simply preliminary studies on paper and the Board stated that though their design bore evidence of careful study, great labor, and the exercise of trained intelligence and ingenuity and indicated entire feasibility, it would hesitate to recommend a mechanical contrivance of this magnitude involving the harmonious working of so many functions, until its workable value had been ascertained by experiment and practical trial on a large scale. This the Board considered especially true of the pneumatic lock whose many novel devices required practical tests to determine their proper proportions and modes and rate of operation.

The comparative cost of constructing and installing locks of these two types at the Cohoes site appeared by the quantitative estimates submitted by their designers to be somewhat greater for the superstructure of the tower and cable lock, than for the superstructure of one of the pneumatic type, but the cost for the excavations and masonry for the latter would be very large, making the total probable cost considerably greater than for a lock of the former kind.

In the third or hydraulic type of lift lock for which sketch plans were submitted by Mr. T. E. Brown, Jr., Chief Engineer of the Otis Elevator Company, and Consulting Engineer for the Buffalo Engineering Company, the counterbalancing of the companion lock tanks was effected by columns of water contained in suitable hydraulic cylinders symmetrically disposed under the longitudinal axis of each tank, intercommunicating at their lower ends, which must be sunk deep enough below the surface of the lower level to provide the desired

lift. Mr. Brown proposed to use three cylinders under each tank and to coordinate their movement by a heavy central counterweight directly connected with both ends of the tank by a detail under which the weight always acts to overcome any irregular distribution of load caused by the tendency of the water to flow to whichever end of the tank might be temporarily depressed below the other end.

As stated by the Board the hydraulic type has the merit of having passed the experimental stage, as a considerable number of lift locks based on this principle have been constructed and are in operation. Each tank, has, however, generally been carried on a single hydraulic cylinder. It was felt that a single cylinder would not be sufficient for the long tanks of the canal proposed, 310 feet in the clear.

The Board expressed the belief that the synchronous movement of the opposite ends of the lock tanks carried on several cylinders could be secured satisfactorily by the method suggested by Mr. Brown in general accord with a model which he submitted. In addition to the fact that the hydraulic type of lock has been successfully tried, it is cheaper to install than the pneumatic lock on account of the far less volume of excavation and masonry involved in its construction and is probably cheaper than any other kind of mechanical lift lock.

It was considered that in relative merit the different types of mechanical lift locks stood as follows : —

1. The hydraulic lock.
2. The chain balance lock.
3. The pneumatic lock.

Consideration was also given by the Board to the applicability of a double flight of four masonry locks of the ordinary type to overcome the fall, each lock having a lift of 28 feet.

After carefully studying the matter and giving due weight to questions of first cost, and cost of operation and maintenance, to time of passage by the fleets of boats which will probably use the canal, the water supply and usage of water, and liability to serious accidents and delays, the Board recommended that masonry locks of the ordinary type be adopted.

This recommendation was largely based on the fact that the water supply is ample for the ordinary locks and the State has the first right to it for purposes of navigation, and because the mechanical lift lock is a metallic machine subject to the wear, depreciation and necessary renewals which always make a

large annual charge against every such machine. Its successful operation involves a great number of appliances all requiring power and attendance. In the masonry locks these features are confined to the gates and valves with the appliances for moving them. There can be no doubt that the masonry locks would be more cheaply maintained and operated and suffer less depreciation, and that they would afford greater immunity from serious accidents than any lock of the mechanical type in which an accident may prove a disaster, possibly a disaster which would prevent the use of the canal for an entire season of navigation.

Since the report of the Board a new route has been found and decided upon for the chain of masonry locks which gives a basin at the head of each lock ample in size to permit the lockage water to be used without materially lowering the water in the basin, thus permitting the use of single locks instead of a double flight of locks costing much more.

The Board having exhaustively considered the subject of lift locks at Cohoes where there is the greatest change of level, stated that at no other points were there as good reasons for adopting mechanical lift locks as at Cohoes and that masonry locks should be adopted throughout the entire canal system. The economy of masonry locks as compared with mechanical ones of any type increases as the height of the lift to be overcome decreases for the reason that a large part of the cost of locks of the latter type is for structures, apparatus and machinery that must be the same whatever the amplitude of their lift may be.

In accordance with the report of the Board, masonry locks have been adopted exclusively for the new Erie, Oswego and Champlain canals under improvement by New York.

A rather remarkable lock has been proposed for the Erie Canal at Lockport which is receiving consideration. At this place under the adopted plans for the new canal there will be a fall of 50 feet, and the original plans called for a double tier of two locks each with 25 feet lift. The new proposition is to use instead a single masonry lock of 50 feet lift with the regular horizontal dimensions of all other locks. The upper gates for this lock would be the same as for ordinary locks, but the lower gates would be entirely different. The head room under the fixed bridges of the canals will be 16 feet; therefore the movable part of the lower gate need only be in height 16 feet plus the depth of the canal, 12 feet, or 28 feet

in all. The upper 34 feet at the lower end of the lock chamber may be fixed in position of steel or masonry. The gate proposed is a vertical lift gate which can be operated from the top of the fixed wall at the lower end of the lock chamber. When in position the gate would be very nearly square and supported on top and bottom and both sides. This lock will cost much less to install than the four locks originally proposed, but it has certain objections in the additional amount of water required for the passage of boats, the time required for lockage, and the difficulty of providing middle gates which render its adoption uncertain.

The Hydraulic Lift Lock at Peterboro, Canada.

While in the United States mechanical lift locks have not met with sufficient favor to bring about their adoption in any instance the contrary is the case in Canada where there has been constructed at Peterboro the largest hydraulic lift in the world, and another at Kirkfield a short distance from Peterboro on the same line of canal is being built of almost equal size.

This paper will close with an account of this lock at Peterboro, which was completed and opened for business on July 9, 1904.

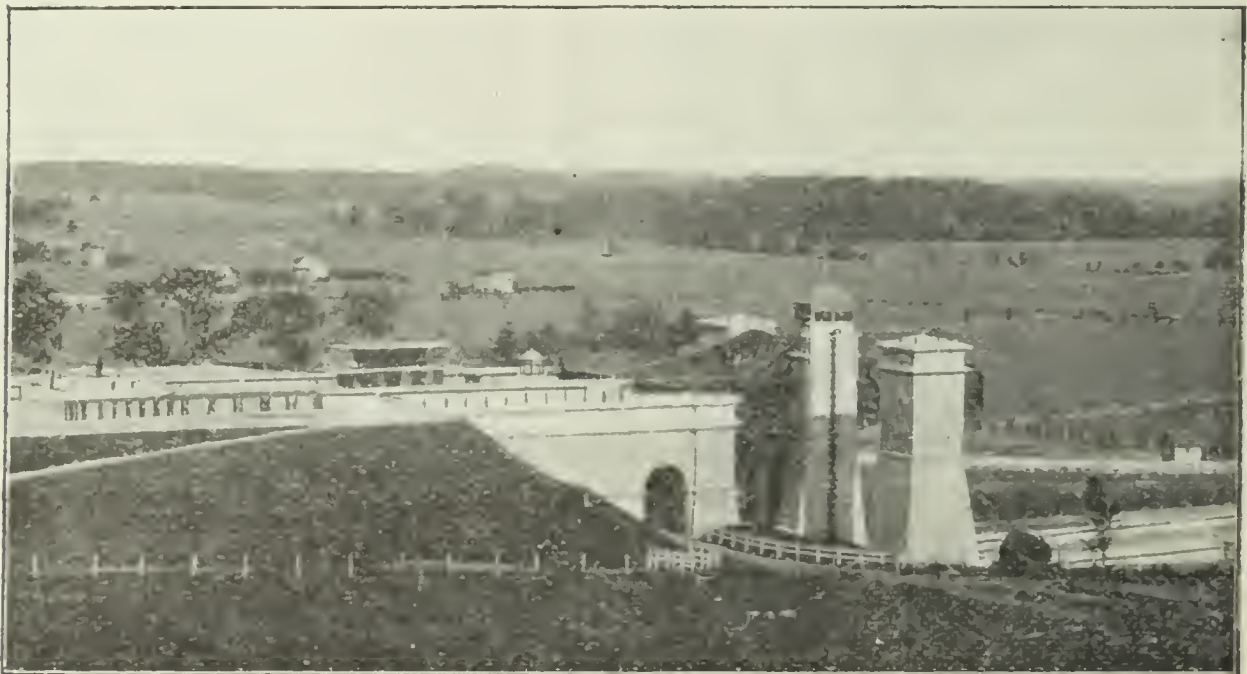
The Trent Canal.

The Trent Canal is designed primarily as a waterway to connect Georgian Bay, the great eastern arm of Lake Huron, with the lower end of Lake Ontario, giving a short through route from the upper Great Lakes to the lower St. Lawrence reached by deep-sea ships. It was commenced some seventy years ago and is still unfinished. It is quite a remarkable waterway as the region through which it passes is dotted with almost numberless small lakes some of which it is the function of the canal sections, in connection with the rivers, to unite into a continuous water route. Out of the entire distance of 200 miles between terminals only about 20 miles will be in canal sections. The canal locks first built were of wood, then came stone locks, then concrete, all of the ordinary type, and lastly, for the more abrupt changes of level, hydraulic lifts have been adopted.

The lift lock at Peterboro is the first one of the sort to be built on the American continent, and as yet the only one.

The lock presents a very handsome, solid and symmetrical appearance. The approach embankments are beautifully terraced and sodded, and there is a driveway through the breast wall. It is lighted by electricity generated at the lock. Two photographs accompany this paper which give a very good idea of the structure. One is a view from high ground near the upper level. The near lock chamber is down connecting with the lower level and the far chamber is up connecting with the higher level.

The second picture is from below the locks, and shows both lock chambers part way up, one with a boat in it. It also shows the gates which close the lower reach.



The lock has a clear lift from the lower to the upper water level of 65 feet.

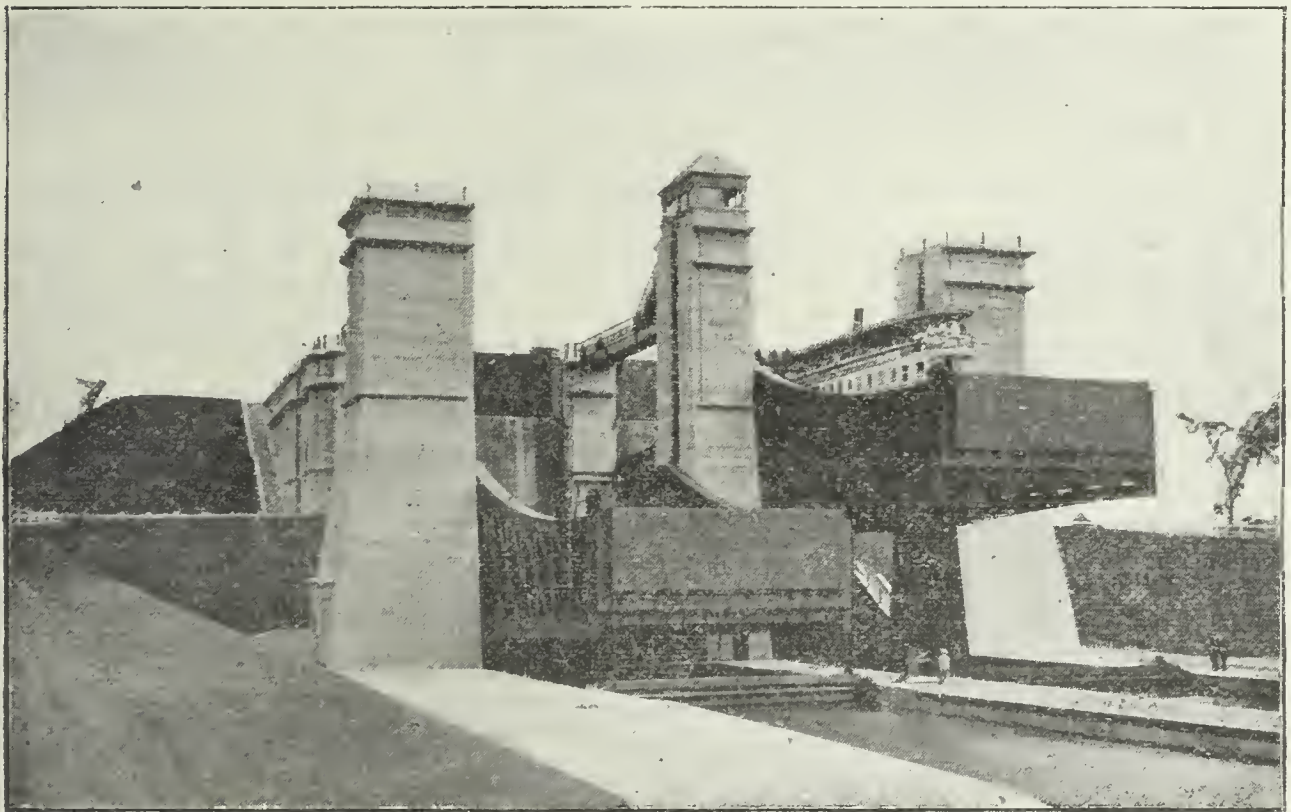
The lock approach walls and the three guide towers are constructed of concrete. The breast wall of the lock is 40 feet thick, 80 feet high and 126 feet long at the base. The guide towers have a height of 100 feet, the two main towers are $26 \frac{1}{2}$ feet by $40 \frac{2}{3}$ feet at the base, the middle tower being somewhat smaller. About 26,000 cubic yards of concrete were used in the work.

The two lock chambers are steel tanks each 140 feet long, 33 feet wide and 9 feet 10 inches deep with a navigating depth of 8 feet of water.

The chambers are supported and balanced on, and raised

and lowered by means of, a hydraulic piston under their centers, the main operating force being a surcharge of water in the tank to be lowered. The cylinders are connected by a 12-inch pipe, with suitable valves to control the passage of water from one to be the other or shut it off as occasion may require. Besides the main gate valve there are two auxiliary valves which are operated automatically by the lock during its motion and which serve as a protection against possible accident to the gate valve.

The main hydraulic presses form the most interesting as well as the most important part of the whole structure. It is thought that they are the largest hydraulic presses that have



ever been made. Each ram is 90 inches external diameter and has a working stroke of 65 feet. The gauge pressure in the presses during operation is nearly 600 pounds per square inch. The inside diameter of the press is 7 feet 8 1/2 inches, giving a water space of 1 1/4 inches all round between the ram and press. The rams are built of cast iron, 3 1/4 inches thick, made up in sections. Each section is 5 feet 3 inches long and is bolted to the adjacent ones by bolts though inside flanges for which purpose forty 1 1/4 inch bolts are used. The joints between the sections are made with a gasket of thin copper, rolled true to gage, 1/16 inch thick by 3/4 inch wide. This gasket is brazed in the form of a ring. The ends of the ram sections

are rabbetted to fit into one another and have male and female corrugations. The copper is put in flat and when the joint is screwed down tightly becomes corrugated, making the joint perfectly tight.

The presses are made of steel castings, built up similarly to the rams. The internal diameter is 7 feet 8 1/2 inches. The thickness of the metal is 3 1/2 inches and the length of the sections 5 feet 3 inches. The sections are flanged at both ends. The flanges are faced and rabbetted male and female to receive a soft copper gasket similar to that used in the rams. In addition to the copper a lead gasket was also used in the press joints, being placed in a V-shaped groove cut in the flanges about three inches outside the circle of the copper gasket. The lead was put in round, 1/2-inch diameter, and distorted to nearly fill the groove in the process of making the joint. Fifty-six bolts 1 5/8 inches in diameter were used in each of the press joints.

The top of each press is finished with a stuffing box of rectangular form, 1 inch wide and about 10 inches deep. This box contains 12 rings of braided hemp packing, which before using is about 1 inch square. The hemp is tightened down by a steel gland or follower with 36 stud bolts tapped into the top section. Each press is stayed to the walls of the well near the top by adjustable struts, enabling the press to be accurately centered before the erection of the lock chambers began.

The auxiliary plant in connection with the Peterboro lock consists of a hydraulic accumulator with its accessories, the hydraulic gate engines, two hydraulic capstans, an air compressor, an air waterlift, a deep well pump and a lighting dynamo.

The duty of the accumulator is to supply water under pressure to the main presses for the purpose of making good any slight leakage of the large glands or the adjustment of the relative height of either chamber. It also supplies power to the gate engines and the capstans. The ram of the accumulator is 20 inches in diameter and the working stroke 30 feet 6 inches. The working pressure is intended to be 625 pounds per square inch. The accumulator is installed in the east side tower and gets its water supply from one of a duplicate pair of pressure pumps in the pump room in the breast wall. These pumps are operated by a 16 inch horizontal turbine driven under a 65 foot head by water from the upper reach of the canal. The accumulator differs from the regular type by hav-

ing its ballast box directly above the ram instead of the usual annular form, the advantage so gained being an efficient bracing of the accumulator to the walls of the tower. The accumulator automatically regulates its motive power. One three cylinder hydraulic engine operates the lower gates, and a similar one operates the upper gates. One hydraulic capstan is on the lower level and the other on the upper. The gate engines and capstans are all actuated by the accumulator.

The gates and their operating machinery are of a different type from anything that has hitherto been employed for this purpose. There are eight gates in all, one on each end of each chamber, and one on each end of each reach. Each gate is hinged along its lower edge and is provided with galvanized air chambers of sufficient capacity to render it practically buoyant. As it is never necessary to operate any gate singly they have been arranged to work in pairs and to engage automatically. Each of the down stream pairs is operated by a small three cylinder hydraulic engine placed on the line of the axis of the reach gates in the small room provided for the purpose in the concrete wall between the gateways. A similar engine is employed for the upper gates. Through the chain, motion is imparted to the pinion engaging with the segmental rack anchored to the wall. There is a similar rack on each side of the gateway, the top shaft being carried across the gate. When open, both gates lie flat upon the bottom, leaving the full navigation depth. The gates are steel throughout, the framework consisting of a series of vertical I-beam posts, which connect to the top girder giving a perfectly determinate system of stresses throughout, and bringing definite abutment loads where they can be readily cared for. The plating is all on the outer sides of the gates (that is, the adjacent faces of any pair), is 5/16 inch thick on the upper parts, 3/8 inch thick below, butt spliced and caulked in the same way as in the lock chambers.

Water tightness is ensured between the gates and chambers, or gates and reaches, by means of a rubber strip or flap, about 3 inches by 1/2 inch, fastened along the sides and bottom of the frame against which the gate closes. The pressure of the water keeps the strip tightly pressed against the gate in this way preventing leakage. The edge against which the rubber bears is machined to a true surface.

When the lock chamber is in position for communication with either upper or lower reach there is a space of about two inches between the end walls of the chamber and those of the

adjacent reach. This is necessary for the play of the walls past each other in getting into position, and must be closed when the gates are opened and communication is established. To close this space there is a collapsible rubber tube which is inflated with air under a pressure of about 10 pounds per square inch. By raising the gates and deflating this tube the chamber is ready for its vertical motion. The compressed air for this closure is supplied by a hydraulic air compressor built in the breast wall.

The actual time required for passing a boat from one level to another is 12 minutes, the time of the vertical motion of the chambers being 1 1/2 minute. Three men are required to operate the lock, the lock master who raises and lowers the chambers, and one man at each gate to operate the engine opening and closing the gates and to manipulate the capstans used to tow the boats and control them while in the chambers.

The hydraulic lock was designed and built by Mr. R. B. Rogers, the superintending engineer of the Trent Canal, and its cost was \$500,000.

Under the superintendence of Mr. Rogers another hydraulic lift lock of similar governing dimensions is being built at Kirkfield between Balsam Lake and Lake Simcoe on the line of the Trent Canal. This lock will have a lift of 50 feet and will be operated on steel towers instead of masonry towers as at Peterboro. In its construction many changes and improvements will be incorporated which have been suggested during the construction and operation of the Peterboro lock, so that it will be the most simple, efficient and up-to-date mechanical lift lock in the world.

THOMAS W. SYMONS.

627.06
INR
1905

ASSOCIATION INTERNATIONALE PERMANENTE
DES
CONGRÈS DE NAVIGATION

X^e CONGRÈS - MILAN - 1905

I. Section : Navigation Intérieure
3. Question

ÉTUDE

DES

Systèmes propres à racheter les grandes chutes
ENTRE LES BIEFS DE CANAUX

RAPPORT

PAR

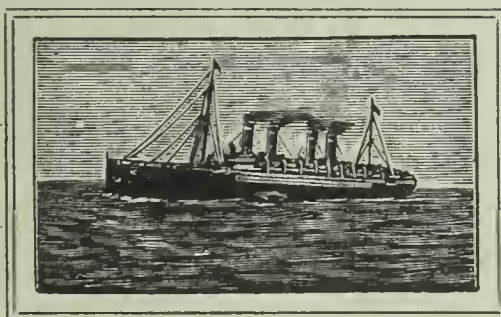
M. Th. SYMONS

Lieutenant-Colonel du Corps du Génie de l'Armée des Etats-Unis

Ingénieur civil

Membre du Comité consultatif technique pour l'amélioration des canaux dans l'État de New-York

NAVIGARE



NECESSE

BRUXELLES

IMPRIMERIE DES TRAVAUX PUBLICS (SOCIÉTÉ ANONYME)

18, Rue des Trois-Têtes, 18

1905

É T U D E

DES

Systèmes propres à racheter les grandes Chutes entre les biefs de Canaux

Les élévateurs mécaniques pour bateaux
dans l'Amérique du Nord

RAPPORT

PAR

M. Thomas W. SYMONS

Lieutenant-Colonel du corps du Génie de l'Armée des États-Unis

Ingénieur civil

Membre du Comité consultatif technique pour l'amélioration des Canaux dans l'État de New-York

La construction des canaux de navigation a reçu depuis quelques années dans l'Amérique du Nord une impulsion très notable. Les Etats-Unis ont racheté à la Compagnie propriétaire l'ancien canal de Panama et, après avoir voté les crédits nécessaires, ils se sont mis en devoir de le terminer le plus rapidement possible, tout en poursuivant la construction de nombreux canaux en diverses régions de leur propre territoire. Le Canada, outre quelques réseaux de moindre importance, a terminé la voie navigable du Welland et du Saint-Laurent; il a marché à grands pas vers l'achèvement du réseau du Trent et paraît avoir décidé la construction d'un canal maritime entre la baie de Géorgie et la partie inférieure du Saint Laurent, par le lac Nipissing et la rivière Ottawa. Ces deux puissances réunies ont construit trois grandes écluses à Sault-Sainte-Marie pour relier le lac Supérieur aux lacs Michigan et Huron. Enfin, comme travaux d'intérêt local ou régional, la ville de Chicago a achevé la construction de son grand canal d'écoulement et de navigation et l'Etat de New-York a entamé le travail gigantesque de reconstruire et d'agrandir son réseau de voies navigables artificielles, comprenant les canaux Erié, d'Oswego et Champlain qui unissent respectivement les lacs Erié, Ontario et Champlain à son grand fleuve : l'Hudson, et par là à New-York et à l'Océan.

A Panama, le tracé définitif du canal n'a pas encore été entièrement

arrêté, non plus que le choix entre le système à bief unique ou à biefs échelonnés. Mais si l'on y construit des écluses, elles seront du type ordinaire, avec une largeur de 30 m. 48, une longueur de 304 m. 80 et un mouillage de 10 m. 67.

Les écluses construites par le Gouvernement des Etats-Unis en divers points de leur territoire sont toutes du type ordinaire également, leurs dimensions variant d'après les exigences de la navigation locale.

Les canaux du Saint-Laurent constituent avec le canal du Welland une voie navigable directe reliant les Grands Lacs à la partie maritime du fleuve à Montréal. Leurs écluses diffèrent fort peu de celles de ce dernier canal, qui assure les communications entre les lacs Erié et Ontario et celles-ci ont les dimensions principales suivantes : 13 m. 72 de large, 82 m. 30 de long et 4 m. 27 de mouillage. Quelques-unes des écluses du canal Saint-Laurent ont été toutefois construites sur une longueur de 243 m. 84 afin de permettre l'éclusage d'un train entier de bois ou de bateaux sur le canal du Trent ; la plupart des chutes de niveau sont également rachetées par des écluses ordinaires ayant une largeur de 10 m. 06, une longueur de 40 m. 84 et des mouillages variant de 1 m. 83 à 2 m. 44. En un point de ce canal, cependant, on a construit un ascenseur hydraulique qui fonctionne à présent d'une manière satisfaisante et qui est remarquable en ce qu'il rachète une chute plus considérable qu'aucun autre ascenseur existant. Il en sera donné plus loin une description résumée.

Avant que l'Etat de New-York s'engageât définitivement dans la tâche de reconstruire son réseau de canaux, il fit procéder à la confection des plans et devis du travail projeté. Dans le cours de cette étude, la question des élévateurs mécaniques reçut une attention toute particulière, en vue de son application éventuelle en deux points du canal Erié, à Lockport et à Cohoes.

On rencontre actuellement au premier de ces points une chute brusque de 17 mètres rachetée par une double échelle de cinq écluses.

La proposition à étudier ici, consistait à substituer à ces dix écluses un seul élévateur mécanique rachetant la même chute totale.

Au second de ces points se trouve une série de seize écluses permettant de passer du niveau de l'Hudson à celui de la Mohawk, au-dessus des chutes de Cohoes et désignées couramment sous le nom abrégé de *the Sixteens* (les Seize). Ces écluses sont très rapprochées mais séparées cependant par de courts biefs formant bassins. Il s'agissait ici de déplacer la chute et de la concentrer en un seul point pour la franchir par un seul élévateur dont la course devait varier de 34 m. 14 à 36 m. 88, selon la hauteur que l'on aurait donnée à la digue à construire au-dessus des chutes de Cohoes.

Les partisans de l'adoption d'élévateurs en ces deux endroits soute-

naient qu'ils seraient moins coûteux d'établissement et de fonctionnement que des écluses ordinaires et qu'ils prendraient moins de temps et consommeraient beaucoup moins d'eau pour leur manœuvre. Cette dernière considération était fort sérieuse à cause de la valeur de l'eau en ces deux points pour les usages industriels.

La détermination de la question du système à adopter pour surmonter ces deux passages difficiles était d'une importance telle que l'ingénieur de l'Etat de New-York, qui était à cette époque, M. E.-A. Bond, nomma pour l'étudier une Commission spéciale composée exclusivement d'ingénieurs. Cette Commission, dont faisait partie l'auteur de ce rapport, porta tout spécialement son attention sur la chute de Cohoes celle-ci étant à la fois la plus abrupte et la plus élevée et, par conséquent, la plus favorable à l'emploi d'un élévateur mécanique. A l'époque où fut constituée cette commission, la hauteur que l'on se proposait de franchir à Cohoes était de 34 m. 14; les dimensions adoptées pour les écluses du nouveau réseau étaient, dans œuvre, 94 m. 49, sur 8 m. 53, avec un mouillage de 3 m. 66.

Trois espèces d'ascenseurs étaient proposés pour racheter la chute ci-dessus en une seule fois, réalisant tous trois par des moyens différents le même principe, qui consistait à équilibrer l'un par l'autre deux sas présentant les dimensions ci-dessus et pouvant contenir chacun deux bateaux à flot de 1000 tonneaux de port en lourd. Le mouvement de ces sas était réglé par des mécanismes auxiliaires spéciaux, destinés à assurer leur concordance parfaite sur toute l'étendue de leur course verticale. En outre de ces dispositions essentielles, des mécanismes et appareils variés étaient prévus dans les différents projets pour ouvrir et fermer les communications entre les biefs et les sas, pour maintenir ceux-ci constamment de niveau et pour les arrêter doucement et sans choc à fin de course. Quoique le projet de chacun des trois types en présence contienne des dispositions originales pour les organes de fermeture et de jonction des pertuis et des sas, ces dispositions n'avaient aucun rapport spécial avec le type auquel elles s'appliquaient, mais auraient pu tout aussi bien se concilier avec l'emploi d'un système quelconque d'élévateur.

Dans le cas présent, les trois types proposés différaient principalement par l'organe ou l'agent assurant l'équilibre relatif des deux sas, et l'on peut, à ce point de vue, les classer comme suit : 1° le type pneumatique, 2° le type funiculaire et 3° le type hydraulique.

Le système pneumatique, présenté sous le nom de *système Dutton*, réalise l'équilibre des sas par des colonnes d'air comprimé, emprisonnées sous chaque sas dans des chambres communiquant à la base par des tuyaux, tant entre elles qu'avec un accumulateur et un compresseur d'air.

Dans ce projet, chaque sas est supporté par une chambre à air ou cloche renversée destinée à monter et descendre dans un puits à niveau constant. Ces chambres à air servent de flotteurs et supportent les sas par le déplacement d'un volume d'eau en rapport avec le poids total de l'ensemble; il faut donc que leur hauteur soit telle que lorsque le sas est au sommet de sa course, c'est-à-dire en communication avec le bief d'amont, l'arête inférieure de la cloche soit immergée d'une profondeur supérieure à celle qui serait nécessaire pour assurer la flottabilité du système. La différence entre ces deux hauteurs sera mesurée par la distance à laquelle l'air emprisonné s'arrêtera au-dessus de l'arête inférieure, distance qui ne peut être trop réduite, sans que l'on risque de laisser échapper une certaine quantité d'air. En ajoutant à cette profondeur d'immersion de la cloche au haut de sa course la hauteur de celle-ci, on obtiendra l'immersion totale du système dans sa position inférieure et l'on pourra en déduire la profondeur à donner au puits. Dans le projet considéré, les chambres à air et leur sas ont approximativement la même section horizontale et la hauteur de la tranche d'eau à déplacer pour équilibrer le poids du système est d'environ 6 mètres, ce qui, pour un soulèvement de 34 m. 14 aurait exigé des puits de 42 m. 70 environ sous le niveau de la flottaison d'aval. Ces puits auraient dû être ouverts sur une longueur de 99 mètres et une largeur de 10 m. 65 environ et maintenus libres de tout obstacle intérieur pour permettre l'ascension et la descente des sas.

Dans le deuxième système d'élévateur examiné par la Commission, les deux sas s'équilibraient par l'intermédiaire de câbles ou de chaînes passant sur des roues ou des tambours portés par des tours en acier laminé. MM. R. Davis avait présenté un projet avec devis très soigneusement étudiés pour l'application de ce système à la chute de Cohoes.

Aucun de ces deux systèmes, pneumatique ou funiculaire, n'a atteint la période d'expérimentation pratique. Les deux projets, « fort beaux sur le papier », témoignaient certes de l'avis de la Commission, d'une consciencieuse et laborieuse étude faite par des hommes d'une intelligence exercée et d'une grande ingéniosité; ils lui paraissaient tous deux parfaitement réalisables, mais elle n'en hésita pas moins à déclarer qu'elle ne pouvait recommander l'adoption d'une construction mécanique de cette importance, exigeant le fonctionnement harmonieux d'un si grand nombre d'organes, avant que sa valeur pratique eût été établie par des expériences faites sur une grande échelle. Cette objection s'appliquait plus spécialement au système pneumatique dont maint détail nouveau aurait dû être soumis, au préalable, à des essais pratiques destinés à en déterminer

avec certitude les proportions, les modes et les limites d'emploi les plus convenables.

Si l'on compare les deux projets au point de vue du coût de premier établissement, on constate que la superstructure du système funiculaire aurait coûté, à Cohoes, en se basant sur les devis présentés par les auteurs, quelque peu plus cher que celle du système pneumatique. Mais l'importance considérable des terrassements et des maçonneries nécessités par ce dernier auraient très probablement porté son prix total à un chiffre de beaucoup supérieur à celui d'un ascenseur funiculaire.

Le système hydraulique était représenté par le projet de M. T. E. Brown junior, ingénieur en chef de la « Otis Elevator Company » et ingénieur consultant de la « Buffalo Engineering Company ». Ce spécialiste présentait un avant-projet d'après lequel l'équilibre réciproque des sas jumeaux était assuré par l'intermédiaire de colonnes liquides, contenues dans des cylindres métalliques verticaux répartis sous chaque sas suivant son plan médian longitudinal. La communication entre ces cylindres était obtenue par des conduites débouchant à leur extrémité inférieure, descendue assez bas sous le niveau d'aval pour permettre de réaliser une course verticale égale à la chute à franchir. M. Brown proposait d'employer trois plongeurs sous chaque sas et de coordonner leurs déplacements par un contre-poids central fort lourd, relié directement aux deux extrémités du sas par un mécanisme disposé de manière à le faire intervenir pour combattre toute distribution inégale de la charge causée par l'afflux de l'eau vers une des extrémités du sas sous l'action d'une inégalité momentanée dans les niveaux des deux extrémités.

Ainsi que l'a constaté la Commission, le système hydraulique a l'avantage d'avoir passé la période d'expérimentation, un nombre considérable d'ascenseurs basés sur ce principe ayant été construits et mis en service régulier. Jusqu'ici, il est vrai, chaque sas a été généralement porté sur un piston unique, mais la Commission a estimé que la grande longueur (94 m. 50) des sas du canal Erié exigerait l'adoption de plusieurs supports. Elle a estimé, d'autre part, que la simultanéité des mouvements des deux extrémités des sas mobiles pourrait être assurée dans une mesure satisfaisante en employant la méthode proposée par M. Brown et appliquée par lui à un modèle soumis à la Commission.

En outre de l'avantage que présente le système hydraulique au point de vue de l'expérience acquise dans sa construction et son fonctionnement, il offre aussi celui de coûter moins que le système pneumatique à cause du volume beaucoup moindre des fouilles et des maçonneries et moins aussi, sans doute, que tout autre système

d'élévateur mécanique. En conclusion, les trois systèmes proposés à Cohoes furent classés comme suit par la Commission, au point de vue de leur mérite relatif :

- 1° L'ascenseur hydraulique ;
- 2° L'ascenseur funiculaire ;
- 3° L'ascenseur pneumatique.

La Commission spéciale examina ensuite la solution comportant la construction d'une double échelle de quatre écluses ordinaires, ayant chacune une chute de 8 m. 53. Après une étude attentive, faite en tenant compte du coût de premier établissement, des frais d'entretien et d'exploitation, de la durée du passage par les trains de bateaux qui navigueront probablement sur le canal, des ressources en eau et des droits des riverains, enfin de la possibilité d'accidents et de retards sérieux, la Commission se prononça en faveur des écluses ordinaires en maçonnerie.

Cette conclusion se justifiait d'abord et principalement par l'abondance de l'alimentation d'eau, largement suffisante pour des écluses et sur laquelle l'Etat possède un droit de priorité pour l'usage de la navigation et, ensuite, parce que les élévateurs sont des machines sujettes à des dépréciations et réparations qui se traduisent par des charges annuelles importantes. Leur fonctionnement comporte un grand nombre d'appareils, exigeant tous de la force motrice et du personnel, tandis que dans les écluses il n'en est ainsi que pour les portes et les vannes avec leurs dispositifs de manœuvre. En résumé, il n'est pas douteux que les écluses soient plus économiques d'entretien et de fonctionnement et subissent une dépréciation moindre et qu'elles soient moins exposées à des accidents sérieux qu'aucun système d'élévateur mécanique. On doit reconnaître enfin que, pour ces derniers ouvrages, un accident peut facilement devenir désastreux et même entraîner l'arrêt de la navigation pendant une saison entière.

Depuis le dépôt du rapport de la Commission, on a proposé et adopté un nouveau tracé pour l'échelle d'écluses, qui permet de faire précéder chacune d'elles d'un bassin de dimensions suffisantes pour que le prélèvement des éclusées n'en abaisse pas sensiblement le niveau et qui rend ainsi possible la construction d'une série d'écluses simples, beaucoup moins coûteuse que l'échelle d'écluses doubles primitivement prévue.

La Commission, ayant ainsi terminé l'examen des projets d'ascenseurs présentés pour Cohoes, où se trouve la chute la plus considérable, et constaté qu'aucun autre point du canal ne présentait des conditions aussi favorables à l'emploi de ce système, conclut que l'adoption d'écluses ordinaires s'imposait pour tout le canal. Les avantages économiques des écluses par rapport aux élévateurs méca-

riques augmentent lorsque la hauteur de chute diminue, parce que le coût de ces derniers comprend, pour une large part, celui des constructions métalliques, appareils et machines qui sont à peu près indépendants de la hauteur d'ascension.

Conformément aux conclusions de la Commission, les écluses en maçonnerie ont été exclusivement adoptées pour les canaux Erié, d'Oswego et Champlain, dont l'Etat de New-York a entrepris l'amélioration et l'agrandissement.

Un type d'écluse assez remarquable a été proposé pour le canal Erié, à Lockport, et se trouve actuellement à l'examen. D'après les profils approuvés, il y aurait à cet endroit une chute de 15 m. 24, que l'on se proposait de racheter par une double échelle de deux écluses d'égale chute. Le nouveau projet présenté comprend une seule écluse en maçonnerie, semblable en plan aux écluses ordinaires et dont les portes d'amont seraient aussi conformes au type courant, tandis que les portes d'aval en seraient remplacées par un dispositif absolument différent, comprenant une partie inférieure mobile et une partie supérieure fixe. La partie inférieure a été calculée de manière à laisser la même hauteur libre au-dessus de la flottaison d'aval que celle prévue sous les ponts fixes, soit 4 m. 88, ce qui, en ajoutant la profondeur d'eau du canal, soit 3 m. 66, donne 8 m. 54 pour hauteur totale de la partie mobile. La partie supérieure, haute de 10 m. 36, peut être construite en maçonnerie ou en métal et constituer un mur de retenue entièrement fixe. La porte proprement dite formerait une sorte de grande vanne glissante, presque carrée, qui appuierait sur tout son pourtour contre les parties fixes de l'écluse : seuil, rainures dans les bajoyers et dessous du mur supérieur. La manœuvre se ferait du haut de ce mur fixe, remplaçant le pont de service d'un barrage à vannes ordinaire. Une telle écluse coûterait beaucoup moins cher à construire que les quatre écluses primitivement proposées, mais elle n'est pas à l'abri de toute objection, notamment en ce qui concerne l'augmentation du volume des éclusées, le temps nécessaire à la manœuvre et la difficulté d'établir des portes intermédiaires. Aussi son adoption est-elle douteuse jusqu'à présent.

L'ascenseur hydraulique à Peterboro, Canada.

Si les élévateurs mécaniques n'ont pas rencontré encore aux Etats-Unis une faveur suffisante pour entraîner leur adoption sur aucun canal, il n'en est pas de même au Canada ; on a construit en effet, à Peterboro, le plus grand ascenseur du monde et on en construit à peu de distance de là, à Kirkfield, un autre presque aussi grand. Le premier a été mis en service le 9 juillet 1904 et la description qui en est donnée ci-après composera la seconde partie de cette note.

Le canal du Trent.

Le canal du Trent a pour objet de relier la baie de Géorgie, ce grand bras oriental du lac Huron, avec la partie inférieure du lac Ontario, formant ainsi une voie directe entre les Grands Lacs et la partie maritime du Saint-Laurent. Il fut commencé il y a quelque soixante dix ans et n'est pas encore terminé. Ce canal traverse une région parsemée d'innombrables petits lacs, dont un certain nombre doivent être reliés entre eux, soit par des tronçons de canal, soit par des rivières, de manière à former une voie navigable assez hétérogène et fort remarquable, si l'on considère que sur la distance totale de 322 kilomètres environ, il y aura seulement 32 kilomètres de canal proprement dit. Les écluses furent d'abord construites en bois, puis on les fit en pierre, puis en béton; finalement, on décida de remplacer celles qui existaient aux passages les plus escarpés par des ascenseurs

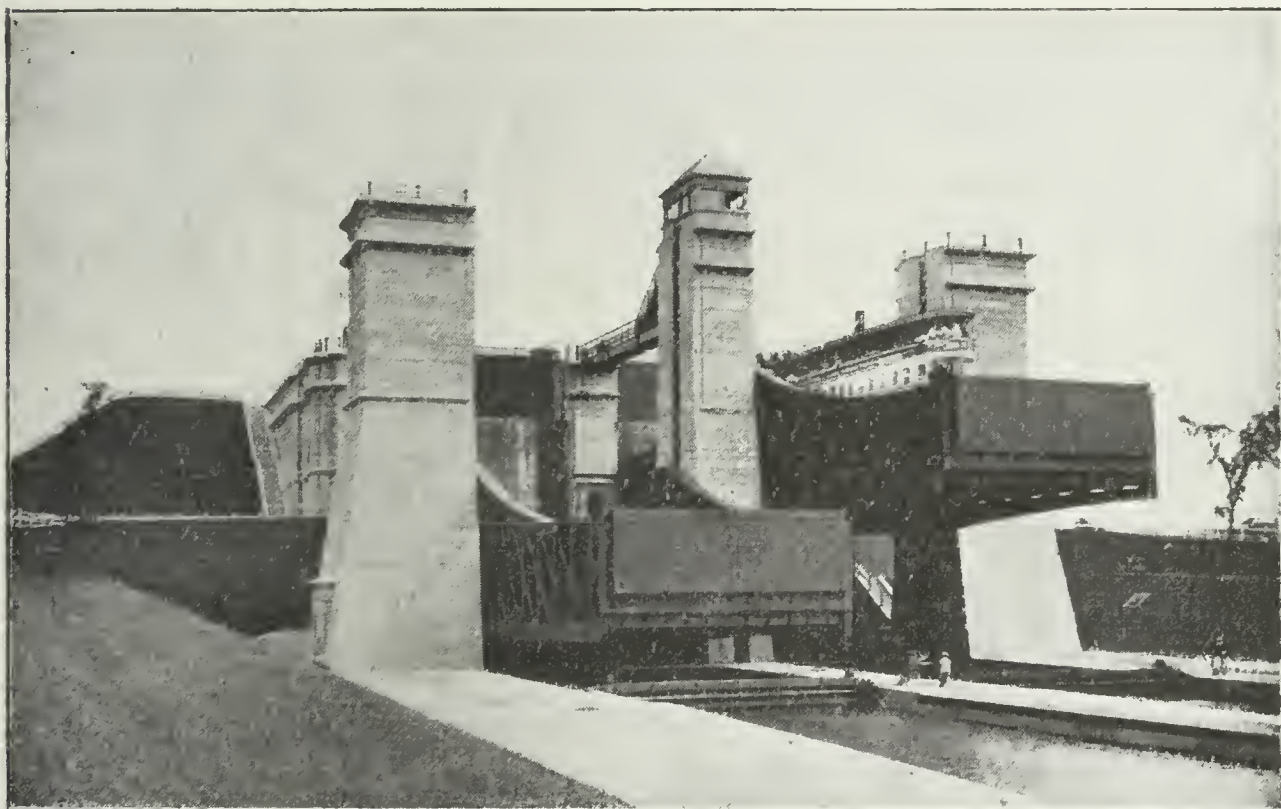


hydrauliques. Celui de Peterboro est, comme nous l'avons vu, le premier ouvrage de l'espèce construit sur le continent américain et il est le seul qui y fonctionne jusqu'à présent. Cet ascenseur offre un aspect des plus satisfaisants, tant par la beauté et la symétrie de ses lignes architecturales que par l'impression de compacité et de solidité qu'il produit. Les remblais de soutien sont soigneusement gazonnés et disposés en terrasses élégantes; un chemin carrossable traverse la base du mur de tête. L'ouvrage et ses abords sont éclairés par l'électricité produite sur place au moyen de l'eau du canal.

Les deux photographies qui accompagnent ce rapport donnent une idée fort exacte de l'ouvrage. La première est prise d'un point élevé, à

peu près au niveau du bief supérieur. Le sas au premier plan est en communication avec le bief d'aval et celui du fond est arrêté au niveau d'amont. La deuxième vue est prise d'un point situé sous l'ascenseur et montre les deux sas dans une position intermédiaire, l'un d'eux contenant un bateau. On peut aussi y voir les portes de retenue du bief d'aval.

L'ascenseur de Peterboro a une course de 19 m. 81. Les murs du pont-canal et les trois tours, servant de guides aux sas, sont construits en béton. Le mur de tête du bief supérieur a 12 m. 20 d'épaisseur, 24 m. 40 de hauteur et 38 m. 40 de longueur à la base. Les tours de guidage ont une hauteur uniforme de 30 m. 48. Les deux principales ont une base de 7 m. 08 sur 12 m. 40, celle du milieu a des dimensions un peu moindres. Environ 20,000 mètres cubes de béton ont été mis en œuvre pour ce travail.



Les deux sas sont des caissons en acier mesurant chacun 42 m. 67 de longueur sur 10 m. 06 de largeur et 3 mètres de hauteur, avec un mouillage de 2 m. 44. Au centre et au-dessous de chaque sas, se trouve un piston plongeur qui le supporte en équilibre et lui imprime son mouvement d'ascension ou de descente, lequel se produit sous l'action d'une surcharge d'eau introduite dans le sas descendant. Les presses sont mises en communication par une conduite de 305 millimètres pourvue de vannes destinées à régler le passage de l'eau de l'une à l'autre ou à l'intercepter en cas de besoin. En plus de la vanne principale, il y a deux vannes auxiliaires qui sont comman-

dées automatiquement par les sas eux-mêmes pendant leur manœuvre, afin de parer, le cas échéant, aux conséquences d'un accident à la maîtresse vanne.

Les presses hydrauliques supportant les sas constituent les organes essentiels de l'installation. On les considère comme les plus grandes qui aient jamais été construites. Chaque piston a 2 m. 286 de diamètre extérieur et sa course est de 19 m. 81. La pression en marche est de près de 41 atmosphères. Le diamètre intérieur des presses est de 2 m. 349, ce qui laisse autour du plongeur un jeu de 31 1/2 millimètres. Les pistons sont formés de tronçons en fonte longs de 1 m. 60 et épais de 82 1/2 millimètres et portant à chaque extrémité une bride intérieure, destinée à les assembler l'un à l'autre au moyen de quarante boulons de 32 millimètres. La garniture des joints se compose d'une rondelle en cuivre rouge mince, laminé à épaisseur très uniforme de 1.6 millimètre sur 19 millimètres de largeur et brasé aux extrémités en contact. Les extrémités des tronçons sont munies d'emboîtements qui assurent leur alignement rigoureux et les faces de contact présentent des ondulations qui se correspondent exactement. La rondelle est placée à plat entre ces portées et sous l'action du serrage elle est forcée d'en épouser la forme ondulée, produisant ainsi un joint parfaitement étanche.

Les presses sont construites d'une manière analogue, mais les sections sont en acier fondu. Leur diamètre intérieur est de 2 m. 349, leur longueur est de 1 m. 600 et leur épaisseur de 89 millimètres. Elles sont aussi munies de brides avec emboîtement mais les portées, au lieu d'être ondulées, sont soigneusement dressées et portent une rainure circulaire en forme de V. Ici la garniture du joint est double et comprend intérieurement une rondelle en cuivre rouge semblable à celle des pistons et, extérieurement, un anneau en plomb de section ronde de 12,7 millimètres de diamètre, logé dans l'espace formé par deux rainures opposées et refoulé par le serrage au point de le remplir presque entièrement et de prendre ainsi une section en forme de losange. Un espace d'environ 76 millimètres sépare les deux garnitures; cinquante-six boulons de 42 millimètres assurent le serrage de chacun de ces joints.

Le sommet de chaque presse comprend une boîte à bourrage de section rectangulaire, large de 25 1/2 millimètres et profonde de 250 millimètres environ, dans laquelle se placent douze anneaux de bourrage carré en chanvre tressé de 25 1/2 millimètres (1 pouce).

Le presse-étoupes en acier est serré par 36 prisonniers vissés dans la tranche du tronçon supérieur. Chaque presse est appuyée aux murs de la fosse par des étais ajustables fixés à sa partie supérieure, ce qui a permis de la centrer exactement avant de procéder au montage du sas correspondant.

Les installations auxiliaires qui complètent l'ascenseur de Peterboro comprennent un accumulateur hydraulique avec ses accessoires, deux moteurs hydrauliques pour les portes, deux cabestans hydrauliques, un compresseur d'air, un éjecteur ou pompe à jet marchant à l'air comprimé, une pompe d'épuisement et une dynamo pour l'éclairage.

L'objet de l'accumulateur est de fournir aux grandes presses de l'eau sous pression pour compenser les fuites possibles au bourrage et permettre de rétablir exactement les sas dans leur position relative normale. Il fournit également l'eau motrice pour les moteurs des portes et les cabestans. Son piston-plongeur a un diamètre de 0 m. 61 et une course de 9 m. 30. La pression de service en est calculée à environ 42 1/2 atmosphères. L'accumulateur est installé dans la tour Est et reçoit l'eau refoulée par une des deux paires de pompes foulantes logées dans le mur de tête. Ces pompes sont actionnées par une turbine horizontale de 0 m. 406 située au niveau de la flottaison d'aval et recevant ainsi l'eau du bief supérieur sous une pression de 19 m. 81. L'accumulateur diffère du type ordinaire en ce que la charge est placée directement sur le plongeur, au lieu d'affecter la forme annulaire habituelle; cette modification ayant pour objet de permettre un étayage efficace contre les murs de la tour. Le jeu même de l'accumulateur règle automatiquement le fonctionnement des pompes alimentaires.

Un moteur hydraulique à trois cylindres opère la manœuvre des portes inférieures et un autre analogue opère celle des portes supérieures. Un cabestan hydraulique est placé au bief d'aval et un autre bief d'amont. Ces moteurs et ces cabestans sont tous actionnés par le même accumulateur.

Les portes et leurs mécanismes moteurs diffèrent entièrement de ce que l'on rencontre dans tous les ascenseurs antérieurs. Il y a huit portes en tout, une à chaque extrémité de chaque sas et une à chaque extrémité correspondante des têtes de pertuis. Chacune de ces portes tourne autour de son arête inférieure et contient des compartiments étanches d'une capacité suffisante pour en équilibrer le poids quand elle est immergée.

Comme il n'est jamais nécessaire de manœuvrer une porte isolément, des dispositions spéciales ont été prises pour assurer automatiquement la solidarité de chaque paire. Chacune des deux paires d'aval est commandée à volonté par un petit moteur hydraulique à trois cylindres placé dans l'alignement des axes de rotation des portes des deux pertuis et logé dans une chambre ménagée à l'intérieur du mur de séparation de ces pertuis. Une disposition en tout semblable est adoptée pour le bief supérieur. Les portes motrices, ou portes des pertuis, sont pourvues à la partie supérieure d'un arbre horizontal,

parallèle à leur axe de rotation. Cet arbre porte à chaque extrémité un pignon calé qui engrène avec une crémaillère courbée scellée au mur de chaque côté du pertuis. Ces crémaillères forment un segment de roue dentée fixe ayant pour centre l'axe de rotation de la porte. La rotation de l'arbre supérieur est commandée par une chaîne; les pignons, en tournant, roulent le long des crémaillères et produisent ainsi la rotation de la porte du pertuis et, par entraînement, celle de la porte correspondante du sas. Ces deux portes se rabattent ensemble dans un logement ménagé dans le radier du pertuis de manière à laisser libre la hauteur d'eau imposée pour la navigation. Ces portes sont entièrement construites en acier, leur ossature consiste en une série de montants verticaux en I, qui se rattachent et s'appuient à la poutre horizontale couchée formant le sommet de la porte. Ce mode de construction produit pour les différents éléments un état de sollicitation bien déterminé et pouvant se calculer exactement; de plus il reporte les efforts en des points où il est facile de leur opposer la résistance voulue. Le bordé se trouve sur la face extérieure des portes, c'est-à-dire sur les faces en regard l'une de l'autre dans chaque paire; il a une épaisseur de 8 millimètres à la partie supérieure et de 9 1/2 millimètres à la partie inférieure; les tôles sont rivées bout à bout et matées de la même manière que pour les sas.

L'étanchéité de fermeture des portes des pertuis et de celles des sas est assurée par l'emploi d'une bande de caoutchouc de 7 1/2 centimètres sur 1 1/4 centimètres, fixée le long des côtés et du fond du cadre contre lequel la porte s'appuie. La pression de l'eau maintient cette garniture serrée contre la porte, le long d'une surface de contact soigneusement dressée, et en assure ainsi l'étanchéité.

Quand un sas est arrêté devant l'un des pertuis, en haut ou en bas de sa course, il reste un espace d'environ 5 centimètres entre leurs extrémités respectives. Ce jeu est nécessaire pour éviter tout contact intempestif entre le sas en mouvement et les têtes des pertuis, mais il doit être entièrement fermé quand on veut ouvrir les portes et établir la communication entre le sas et le bief correspondant. Cette fermeture est réalisée par l'emploi d'un tube pneumatique en caoutchouc qui est gonflé sous une pression d'environ 7 kilos par centimètre carré. Quand les portes sont relevées, on dégonfle le tuyau et le sas est prêt à se mettre en marche. L'air sous pression pour cet usage est fourni par un compresseur hydraulique placé dans le mur de tête.

La durée effective du passage d'un bateau d'un bief dans l'autre est de 12 minutes, dont 1 1/2 minute pour la course verticale. Trois hommes sont employés à la manœuvre : le mécanicien, qui dirige le mouvement des sas d'un niveau à l'autre et un aide à chaque bief,

qui conduit les moteurs commandant les portes, ainsi que les cabestans au moyen desquels s'effectuent les manœuvres d'entrée et de sortie des bateaux dans les sas.

L'ascenseur a été étudié par M. R. B. Rogers, l'ingénieur en chef du canal du Trent et construit sous sa direction au coût de 500000 dollars.

Sous la direction du même ingénieur se construit actuellement un autre ascenseur hydraulique à Kirkfield, entre le lac Balsam et le lac Simcoe, sur le même canal. Celui-ci aura une levée de 15 m. 24 et sera guidé par des tours en acier au lieu de tours en béton comme à Peterboro. De nombreuses modifications et améliorations, suggérées par l'expérience acquise pendant la construction et l'exploitation de l'ascenseur de Peterboro, seront apportées au nouvel ouvrage qui constituera ainsi l'élévateur mécanique le plus simple, le plus efficace et le plus perfectionné du monde entier.

T. W. SYMONS.

1. The first part of the paper is devoted to a general discussion of the problem of the existence of solutions of the system of equations

which is the subject of the present paper.

2. In the second part of the paper we shall consider the case of a system of equations of the type

where f_i and g_i are functions of the variables x_1, x_2, \dots, x_n and y_1, y_2, \dots, y_n respectively, and α_i and β_i are constants.

3. In the third part of the paper we shall consider the case of a system of equations of the type



PERMANENT INTERNATIONAL ASSOCIATION
OF
NAVIGATION CONGRESSES

X. CONGRESS - MILAN - 1905

I. Section : Inland Navigation
3. Question

INVESTIGATION OF THE METHODS BEST SUITED
FOR
Surmounting great Differences of Level
BETWEEN THE REACHES OF CANALS

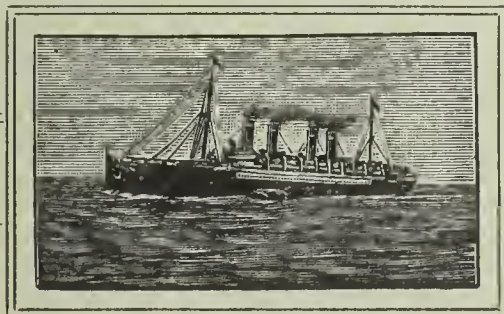
REPORT

BY

Mr. Armand DE BOVET

General Manager of the General Towing Society at Paris

NAVIGARE



NECESSE

BRUSSELS

PRINTING OFFICE OF THE PUBLIC WORKS (CO. LTD.)

18, Rue des Trois-Têtes, 18

1905

ON THE SYSTEMS BEST SUITED

TO

Surmounting great Differences of for Level between the Reaches of Canals

REPORT

BY

Mr. Armand de BOVET

General Manager of the General Towing Society at Paris.

I

Mr. Kuhn, in a report presented at the Düsseldorf Congress, explained how and why the Austrian Government thought, in view of the construction of a projected canal between the Danube and the Oder, of throwing open to competition the study of an apparatus capable of carrying, in one motion, over high lifts the vessels engaged in inland navigation.

This competition has been opened since then. As it was necessary to give builders the exact data required for working out a project which could be carried into effect, there was selected a point on the line of the future canal, in the neighborhood of Prerau, Moravia, when, on a tract of ground of which a detailed plan was given to the competitors, the difference of level to be overcome between the two sections of the canal is 35,90 m.

It was demanded that there should be furnished a complete study of arrangements (including the ends of the levels and manœuvring basins) capable of carrying the boats over this difference of level, every latitude being left to the competitors so far as the choice of means was concerned, on condition that the latter : —

1° Should allow of carrying boats 67 metres long at most, 8 m. 20 wide, and drawing loaded 1 m. 80 ;

2° Should reduce the expenditure of water to a minimum ;

3° Should insure the possible passage and perfect safety for all boats, whether loaded or light, allowed to circulate on the canal, be their mode of construction and condition what they might ;

4° Should be able beyond question to pass thirty boats in each direction every 24 hours, and that with variations of 0 m. 20, more or less in the mean level of the water in each section.

The interest of the problem passes far beyond the case for which it is thus stated : hence the programme was right in saying finally that the preference should be given to the projects which could be most widely applied.

This question of overcoming great lifts was fully discussed at Düsseldorf in 1902 ; so far as known, no new fact has come up since then in the domain of practice, with the exception of the completion of a vertical lift in America. The question was retained, however, on the programme of the Congress of Milan, doubtless because the Committee on Organization thought that it might be interesting to determine what would come from the whole of the studies brought in to the competition at Vienna.

This is what will be attempted here, while asking pardon if this exposition be left in a shape which may be thought too general ; because, on the one hand, there can be no question here of anything resembling an apology, or a criticism of the work of the jury ; on the other hand, so far as the projects which received rewards are concerned, there is no question of repeating the report of the said jury ; and, finally, it is not possible to enter into the details of works which, having been thrown out, remain the property of their authors.

The number of projects sent to Vienna was as high as 198, some of them including two or several variations under the same number. 81 were *a priori* incomplete, the remainder being divided as follows : 34 projects for lifts 24 projects for locks, 32 projects for inclined planes, and 27 unclassified.

After a series of successive eliminations, there still remained a very respectable number of really valuable works, whence came forth finally those which had the good fortune to obtain the votes of the majority of the jury, and, occasionally, a vote nearly unanimous : —

A first prize given to a project for an inclined plane ;

A second prize to a project for a revolving lift ;

Propositions for purchase in favor of two projects for inclined planes, and one project for a lock :

Mentions granted to two projects for inclined planes and three projects for locks ;

Or, in a total of ten projects retained, five were for inclined planes.

This proportion had begun to be manifest some time before the final classification : it is believed that it will seem very natural, when the data which can be given in relation to the various categories of works presented at the competition shall have been set forth. But one remark which touches them all should first be made here.

The ground on which the projected work is to be established is regular with gentle slopes : the inclination of a line joining the extremities of the two levels is very nearly $1/20$. Such a configuration of the ground will require, evidently, very great outlays for the construction of approaches to a work designed to overcome the whole lift vertically at one time.

The work itself would be very dear, because it would greatly exceed the limits beyond which the cost of construction increases much more rapidly than the height to which the work must be carried.

This observation is interesting not alone in weighing the value of the projects prepared for the ground at Prevaux. Indeed, it is to be assumed that, even when it is a question of laying out a canal through a relatively difficult country, the risk of placing it on steep ground will be incurred only in exceptional cases.

II. — Lifts of Various Kinds.

There have been grouped in this category sundry arrangements many of which are to overcome the whole lift at once, notwithstanding the ill adaptation of the ground to this idea.

In quite a number of these projects the authors propose to introduce the boat into a large closed chamber, which can be submerged and which may be called a diving tank. The idea can be easily understood. The tank is formed of a cylinder long enough to hold a boat of 67 metres in length, with a diameter of 9 metres, having doors at both ends and along the bottom a sort of water ballast compartments, by means of which and by varying the quantity of water they hold, a weight less or greater than that of the displaced water can be given to the whole. Light, it floats on the surface of a large well made of masonry or armored concrete, and it can be brought close alongside of the end of the upper level ; loaded, it descends into this well, of which the section is sufficient to hold it and its guides, and comes to the level of the lower section, like a bottle imp.

But it is a very large bottle imp, hard to guide, fully able to resist underneath, without losing either its shape or its tightness, a pressure of more than three atmospheres. The closing of the tank alone ; the combined closing, at the bottom, of the float and the tank, are far from simple. The whole combination is open, evidently, to many objections, even though it possess the advantage of not wasting water.

The other projects in the fourth category are nearly all divided between the turning or the oscillating systems.

With one exception, to be taken up later, the former are founded on big wheels like those set up in many large cities for the amusement of the people. The hanging boxes used by the public are replaced by two tanks. The wheel must be about 70 metres thick, and its diameter must be such that a point taken on the surface of the water in the tank shall describe vertically a circumference 35 m. 90 in diameter.

Among the second, some, built to revolve about their axis of figure, are composed really of two sectors of a big wheel. The oscillation of the tanks having to be equal to the height to be overcome, the whole would attain enormous dimensions, but the system, at this place, lends itself to making a break in the lift which the authors have proposed generally to divide in two. The arrangement requires that the upper and lower levels should end in two branches, each serving one side of the lift. The others are affairs with balance beams oscillating about axes set near the surface of the ground ; they carry a tank balanced by counterweights and generally in a direction perpendicular to that of the axis of rotation : if the arrangement be double acting, two must be arranged alongside of each other, and then the ends of the levels must be again divided into two branches.

If the scale of the drawing be disregarded, all this appears very ingenious on paper. If one reflect on the true dimensions, bear in mind that each tank, with the water and the boat which it holds, must weigh more than a thousand tons suspended from arms about which it must swing freely, that these weights, increased by those of the wheel or of the balance beam, have to be carried on a single axle (on two in certain balance beam apparatus), or even on a series of rollers, one must see that there are difficulties of construction and chances of exploitation present to which it is well not to be exposed.

One apparatus, however, belonging to the group under consideration, held especially the attention of the jury and, finally, obtained from the majority one of the first prizes of the com-

petition. It is deserving of special mention, and the more so as the solution, from the mechanical point of view, is very remarkably ingenious.

It is a large drum, 52 1/2 metres in diameter and 70 metres long, of which the two bases and the whole cylindrical surface are closed, covered with rivetted iron plates.

It has no axis of rotation and merely floats in a basin full of water which forms the prolongation of the lower level. This does away with all difficulty in obtaining foundations and supporting a tremendous weight correctly. Gear wheels are attached to the circumference of the two bases ; these are driven by pinions on the main shaft which is placed on the edge of the basin parallel to the axis of the cylinder. The centres of these two bases are attached to the shaft by two connecting rods ; the one belonging to the rear base is attached to the end wall by a stop which can slide only in a groove which has its centre on the same shaft, so that, in reality, the drum can only : either turn on itself, under the action of the driving pinions, or, if it must be displaced at all by reason of its load, or of variations in the water surface, etc., etc., turn about the shaft which carries the pinions. This, be it understood, being dependent on possible charges of shape and especially of very slight parasitic movements caused by the play which must be left between the teeth of the wheels and the pinions.

The two cylindrical tanks into which the boats must enter, and which are brought successively, by the rotation of the drum, to the level of the upper and lower sections of the canal, are fixed in regard to the remainder of the construction of the drum of which they form a part. During rotation, the water in these tanks remains at the bottom with the boat which it bears attached to a sort of wooden grating which surrounds it, but which must leave it free to accompany the motion which it takes with regard to the sides.

With the tanks loaded normally, with all the arrangements to insure its stiffness, the drum weighs ten thousand tons. The velocity of rotation is slow, the balance perfect ; an engine of 75 to 80 H. P. suffices to manœuvre it. The connection with the upper level is most acceptably worked out and the whole, studied with the greatest care, seems well suited, as the inventors state positively, to resist all strains to which it may be exposed, even to the possible consequences of the accidental emptying of a tank. The conception being, moreover, very seductive, it is not strange that such a project should have been very much no-

ticed. Some doubts may be held, however, on the subject of the special application for which it was prepared, and, highly as the safe working of the drum itself may be considered, it may still be asked whether there be a sufficient degree of safety for the boat which floats freely in a tank carried onward by the motion of rotation of the whole. It is subject for thought whether under the action of the wind, or that of the waves which may be raised in the lower basin, the possible parasitic motions above mentioned may not be converted into very sensible inclinations, of the axis of the drum to a horizontal plane, motions which the action of the water in the tanks will always tend to make more marked, never to correct.

Like the big wheels, such an apparatus can only be adapted to quite high lifts, say a minimum of 20 metres, and cannot be extended practically to differences of level sensibly greater than that for which it was designed.

To conclude, there may be still mentioned the studies of what may be called rolling lifts, including : —

The project, already made known by former publications, which consists in rolling from one level to another, on two slopes of an inclined plane, a closed cylindrical drum containing a floating boat. It calls forth the same objections as the drum above without being able to claim the same merits.

A system composed of two large wheels, as far apart as the length of the tanks which they carry, which, rolling on the ground in one direction, take the tank in the water in the upper level and lower it into the water in the lower level and lift it back by rolling in the opposite direction. Equilibrium is maintained by counterweights. It is needless to dwell on the difficulties of such a construction.

The advantage of all these apparatus is that they reduce the water consumption to nothing : they are all nearly entirely lacking in the desirable character of generality. They bear witness to a remarkable fertility of invention, but they run against disturbing difficulties of construction, ingeniously reduced in one of them, but at the price of sacrifices in regard to the safety of the boat carried.

It is doubtful, in our opinion, whether a general solution of the problem can be sought along this line.

III. — Vertical Lifts.

Aside from a few rare and rather fanciful arrangements, the projects of this class have only reproduced what is already known, either by the applications made thereof, or by the propositions of which it had previously been the object : funicular lifts, those with floats or those with pistons adapted to the weight imposed, some of them designed for a height of 36 metres, others for one of 18 metres.

The apparatus for 18 metres makes two movements necessary to overcome the total lift, but in accordance with the remark made further back, the cost of putting up one for 36 metres is sensibly higher than that for two of half the height.

Setting apart the cost, the difficulty for the funicular apparatus is found in the great weights to be raised rather than in the height to which they must be lifted. The necessity of multiplying suspending parts, the difficulty of providing against the dangers resulting from the breaking of some of them, the consequent obligation of always making sure of the equal distribution of the loads, have brought about the study of very ingenious mechanismus, of rather complicated combinations of balance beams, but quite too ingenious and too complicated in view of the stresses to which they must be exposed. There was hesitation in facing simpler and apparently quite safe arrangements, when it was a question of raising boats of only 300 tons.

As for the lifts with floats, the apparatus able to raise boats of 600 tons exists. The changes proposed did not seem to be improvements. For example, it seems hard to consider such the arrangement which consists in utilizing a single bell 70 metres in diameter, the tank occupying modestly one diameter of the top.

The difficulty for the piston apparatus is rather in the increase of height than in the enlargement of the weight. If a division of the lift into two stories, so to speak, be accepted, there is no doubt that propositions reproducing known arrangements, with two conjugate tanks side by side, the diameter of the pistons suited to the weights to be handled, a central system of guides, leaves nothing open to chance. There would be more in the arrangement, already proposed ere now, including a single tank at each lift, the two balancing each other always

through the medium of a very high pressure main several hundred metres long.

If the too risky or too costly solutions be set aside, it must be noticed, take it all in all, that the competition has produced nothing beyond what was already known.

IV. — Locks.

It is not worth while to dwell on the few rare projects involving flights of many locks for which it would not have been necessary to resort to a competition.

But, on the contrary, the projects should be mentioned which were studied to insure lockage without waste of water, either by means of large floats, in accordance with the ideas set forth at the Dusseldorf Congress in the report of Mr. Schnapp, or by introducing the action of pneumatic pumps into large chambers entirely closed and sufficiently tight, to cause the motion of the water in the lock. In either case the lift is not overcome at once, but is divided into two or three steps.

So far as the former is concerned, even with the lifts thus reduced, the floats are still very large ; they will be very expensive to set up and the handling of such masses is far from simple.

As to the second, apart from the difficulty of constructing and maintaining very large and sufficiently tight chambers, it is impossible not to observe that pumping air is one operation whose yield is very low. If a work must be arranged to be operated with no expenditure of water, would it not be simpler just to pump from the lower to the higher level the water used for a lockage, water of which the quantity can be greatly reduced already by the use of storage basins ?

The other projects of the same category take up frankly the study of very high locks, some of 18, others of 36 metres. All resort to the use of several stories of storage basins (generally 6 or 12) made of armored concrete and set in the mass of concrete which surrounds the chamber. So conceived, the lock is no longer a trench almost completely buried in the ground, but forms a great mass wholly apart and entirely accessible on three sides. Wells, or shafts, built in the mass communicate below with the bottom of the chamber, and, at various points along their height, with the successive storage basins by openings

which are closed by gates, especially by cylindrical gates whose value has been proved.

The successive manœuvring of the gates as the water rises or falls must be made, naturally, with great quickness and no loss of time. They are driven, as a rule, by electric motors. It has been proposed to make them work automatically by means of floats arranged in the lock chamber. The authors who have left their control to the care of a lock keeper are, in our opinion, far better inspired.

It really seems that, with these numerous storage basins of large extent and with the dimensions the lock chamber must have for the passage of the boats for which provision is made, the water expended for one lockage (a boat up and one down) may be reduced to about 5,000 cubic metres, or a saving of three fourths of the volume of water of a single lock chamber 36 m. high, a of the double chamber of two locks each 18 metres high.

Naturally, an intermediate level must be arranged so large that the surface of the water it contains shall not be influenced excessively by the operating of the locks and that boats may pass each other so as to avoid the necessity of making the one going in one direction pass all through the double step before the boat going the other way can be admitted.

Even so, the cost of a double lock is infinitely less than that of a single lock of double height: one-half according to the estimates furnished with a few of the projects. In spite of the advantage there might be in carrying a boat from one level to the other in a single operation, if it be considered, as seems likely, that the construction of a work nearly 40 metres high would be rather hazardous as things are now, it is seen that prudence agrees well with the demands of sound economy, just as in the case of lifts, and more here than there.

Even so, it is none the less true that the competition has brought out some very interesting studies in the matter of locks, projects which seem wholly acceptable and whose carrying out, if answering the requirements, would considerably extend the domain accessible to them up to the present time. The apparatus loses, evidently, much of the simplicity which the world has been pleased to consider an essential merit, but it would succeed in reaching, with a perfectly admissible cost, elevations which only lifts have as yet attained and which it may be considered are very near the limit which they cannot greatly exceed without quite unreasonable expense.

V. — Inclined Planes.

It is necessary in the apparatus of the first two categories to obtain as perfect a balance as possible, either of one tank by another, or of a tank by a counterweight, whence the requirement that the boats, which may be unequally loaded and of various dimensions, be carried floating in a tank having a constant level of the water inside.

With inclined planes comes up the question of transportation in or out of water. The latter has the advantage of reducing greatly the weight to be hauled : several studies along this line were presented. If, however, all boats appearing must be transported provided that their dimensions do not exceed the maxima given, be they large or small, loaded or light, of iron or wood, new or old (and it really seems that the programme should be so understood), it did not appear that anything in the projects presented answered satisfactorily to this collection of conditions or offered a sufficient degree of safety. With such complicated arrangements multiplying out of all reason systems of presses or balance beams, the saving in weight becomes small and the safety, not of the boat alone, but of the apparatus itself, appears uncertain.

Should the plane be longitudinal or transversal ? There were projects of each sort, but many fewer of the second. This explains itself because, in the special case, the shape of the ground calls for a longitudinal plane unless enormous earthworks were to be undertaken. From a more general point of view, other conditions of line might, exceptionally no doubt, but still they might, involve the presence of a very steep slope which would justify the use of a transverse plane. With advantages of its own, this arrangement has also some difficulties of its own, especially for insuring, by the simultaneous action of organs for mechanical balancing which are indispensable here, and of the pushing or pulling apparatus, the correct movement sideways of a very wide cradle which is guided only for a very small length in the direction of the motion. Consideration of this special difficulty is but insufficiently perceived in the studies offered : furthermore, as they show, often through many complications, nothing particularly noticeable, the best thing to do is to refer to the following ponts which are generally as well applicable to transverse as to longitudinal planes.

Several authors have studied plans with two slopes in opposite directions with a level platform at the summit, whereby the boat can be taken in one of the levels and carried to the other. Many among these resorted to carrying the boat out of water which, were it not for disadvantages of its own, would lend itself comparatively easily to changes of slope. Others, discarding this method, have studied the transportation of the floating boat on planes with a summit. One of them, carrying the boat sideways, accepts frankly the change of slope of the tank : this may be possible, but it appears very risky with the dimensions and weights in play. Others, taking the boat lengthways, cannot accept the change of slope for the tank and, in order to leave it horizontal, suspend it from four trucks which run on tracks above the ground, these tracks being carried by metal or masonry structures. The rails of one of these tracks lying outside of those of the other, lead the trucks always in such positions that the tank will remain horizontal ; they would allow, if absolutely necessary, of following the exact shape of the ground during the whole length of the trip. They must appear dangerous in view of the size of the weights to be distributed on very few points of suspension, and they would be, surely, very expensive.

If the use of a plane with a platform at the top be set aside, there must be necessarily a dry head bay at the end of the upper level. It is always possible to immerse the car in the lower level, and many projects have provided for it, at least as an alternative. The variations which this causes in the driving forces, at the moment of starting and stopping, are allowable, but such an arrangement does not agree very well with the use of means which, as will be seen further on, seem the best for moving the cars.

The longitudinal planes, with a straight track and uniform slope, dry bays at top and bottom, now remain. It is a question of carrying on them a boat afloat, by means of a tank car of which the total weight is at least 2,000 tons. The jury thought that it had found the best projects in this category, and it will be interesting, without doubt, to note the great differences which they offer when compared with the earliest conceptions of inclined planes.

All, or nearly all, have taken a slope which conforms very closely to the shape of the ground, or about $1/20$ to $1/25$, corresponding to a length of track of about 800 metres.

All, or nearly all again, place on the car the motors intended to drive it. There has long been a general agreement as

to the advantages of this arrangement. It became imperative from the moment that it became possible : hard with steam engines and boilers, it became easy with electric motors. This is equally true for both transverse and longitudinal planes.

The apparatus being expected to be one of double action, several projects were designed with a mechanical balancing of one tank by the other ; a larger number suppress this balancing, which appears natural. This is not so much because all difficulty of insuring a simultaneous stop above and below disappears in this way, but especially because, with the slight slope to be considered and the resulting great length of track, the balancing parts (generally cables, in one project a strong, stiff jointed rod, sustained from point to point by small special trucks) involve more complications than they offer advantages. So far as safety is concerned, good means of braking are surely sufficient on so slight a slope. From the point of view of economy of work, granting that a certain degree of recovery can always be realized electrically, does the difference compensate for the cost of setting, watching over and maintaining the many supports, pulleys and rollers necessary to sustain long cables, and the precautions which also are necessary to take up the stretch in making sure of their adjustment ? Does it make up, above all, for the advantages which follow the complete independence of the two tanks ? To ask the question is to answer it. The advantages of this independence are such that it has been proposed to balance each tank separately by its own counterweights, but then come in still more complications which, in the end, cost more than the savings realized.

The tanks, being thus made autonomous, can be handled by a driver placed in a room on the car — which presents no difficulty when electricity is used — and no longer by a man stationed at some distance away.

Not only can each reach its destination by itself, but, in case of injury or repairs, each can work alone over the whole distance, thus making it possible not to stop the service entirely without its being necessary, on that account, to double the plane, with a flight of locks, which the service has congratulated itself so often upon having alongside of one lift, and which it is intended to place alongside of another.

Naturally, the descending tank must be held back. The simplest way to restrain it is to make the dynamos, which work as driving engines in going up, act as generators in coming down. This way of braking being far more gentle than any other sys-

tem can pretend to be, ordinary brakes are reserved for stops or accidents. The dynamos utilized in this way become current producers. This current, whose movement is very variable while operations are going on, may be lost among the rheostats; naturally it must be utilized during periods of normal running. Hence the electric recovery is not only possible, but almost forced. It might be had perhaps with accumulators; the method has been pointed out by nearly all the authors, but it is not recommended, and the accumulator must be considered as very delicate for such plants. Indeed, independent as the tanks may be, it is only reasonable that the service be so organized that one should go up as the other comes down, and the current produced by the latter is to be deducted from that which the former would need from the central station. The recovery of work may reach, under these conditions, about 45 %. In the exceptional case of running with a single tank, it is possible to use, during the descent of the tank, a centrifugal pump as a receiving apparatus, this pump raising water from the lower to the higher level. This method, which corresponds to a minimum of recovery, may cause about 18 % of disposable work to be recovered after all calls have been met.

With such an organization, the motors of the tanks are called on, naturally, to give very different quantities of work: the variations, however, remain well within what can be safely asked of the dynamos.

All that has just been said to justify the suppression of all organs for mechanical balance, is only applicable, evidently, to the case of planes with very gentle slopes. When the slopes are steep, mere considerations of safety would render it obligatory to balance one tank mechanically by the other, or to balance both tanks individually by counterweights, otherwise, in case of accidents, there would be danger, if the tanks had obtained a little velocity, that they could not be stopped with certainty by means of brakes. Among the projects presented are found some very judicious arrangements for setting necessary cables, and regulating their lengths by means of a small number of hydraulic balances. Such arrangements would naturally find their use in the case of transverse inclined planes.

It is possible to make the tanks move by mere adherence on the gentle slopes considered, and this has been proposed. Two objections arise against the use of this method. The safety of running may be insufficient when there is frost enough to cover the rails with ice, while not enough to stop navigation. Then,

nearly if not quite all the wheels of the car must be driving wheels, whence the necessity of using a very large number of motors, each of which requires a great reducing of speed. Hence it seems preferable, as nearly all the contestants have proposed, to resort to the use of racks. The increase of cost for the track is lessened, at least, by the simplification of the driving machinery, safety is greatly increased, especially as the rack allows very effective means of braking to be introduced.

The arrangement of the parts being this, no motive engines or transmission members need now be placed under such hard conditions as beneath the end of the upper levels. The outfit of each tank car includes : the frame of the car with wheels or rollers ; then the dynamo-motors ; the drivers room with its rheostats and sundry apparatus for receiving the current and for operating the machine ; a plant capable of supplying the necessary compressed air, especially to insure tight joints around the doors ; finally, another little machine to supply water under pressure, if, for example, the braking arrangements require it. The whole reaches a weight of very nearly 2,000 tons, rather more than less.

The difficulty of carrying such a load when in motion has been often brought up against the authors of projects for inclined planes. The objection has much weight and has caused the already-old production of arrangements which can insure the equal distribution of the load under all circumstances. The principle is always the use of a sufficiently large number of hydraulic jacks, whose pistons carry the entire load and whose barrels communicate with each other. They appear in a certain number of projects often very carefully and ingeniously studied out. Theoretically, the method is perfect. Practically, when it leads to having, on sixty-four separate trucks, for example, uniformly distributed over the surface of a single car, the same number of hydraulic jacks, it is very likely that the engineer who might be aware that he must assume the responsibility of working the apparatus, would view the project with quite another feeling than that of the designer. And indeed there would be cause for hesitation if it were really inevitable that such complications must be taken in hand. Most of the authors have not thought so, believing that such a car can be carried simply on wheels or, if need be, on rollers, and really it is not seen why the project could not be carried out. Nearly all propose the use of wheels, rollers are scarcely noticed except as a variation, and the obligation of taking up chains of rollers also involves a

complication. It can be avoided, it is true, by arranging rollers on half of the length of the rails, but with very long tracks this becomes onerous.

Generally, the projects presented assume that the car is merely carried by wheels, with interposed springs, on very rigidly built tracks, with iron cross-ties well bedded in a heavy mass of concrete. It is easy to locate the wheels and regulate the springs in such a way as to obtain a correct distribution of the load ; they can be sufficiently numerous to be able to receive accidental overloads which are only to be anticipated from the possible breaking of one of them, or from possible movements of water in the tank. Cases of important accidents involving a large number of axles or a great length of track are not included. But, in reality, there is no system whatever which, if it be so heavy, is safe against an accident. A considerable sinking of the track, for example, scarcely seems as though it could be more than the consequence of a movement of the ground, in which case locks would suffer still more than an inclined plane, in spite of the safety which is granted willingly to the former.

Many very different arrangements of wheels and tracks can exist. Two will be mentioned as extreme cases. In a project which assumes movement by adhesion, the tank is borne on forty axles, distributed on each side among four trucks of four axles each, all motor trucks, and two trucks of two axles each. These last are merely carriers and are placed at the ends of the car. This arrangement requires eight motors. The load per axle is forty tons. A wheel is shrunk on the end of each axle. The wheel is made up of two railway wheels joined by their flangs ; it runs on two rails separated by the thickness of the flange. This gives four double rails and no rack, and only twenty wheels on each double rail. In another project, the one which received the first prize, the tank is carried on two rails only, with a row of fifty two wheels on each rail. The wheels have a very broad cylindrical tread, and run on a very heavy flat-headed rail. Each wheel carries ten tons. In this project, the rack, which is very strong, has chevron-shaped teeth on its upper surface and, on the sides, two heavy projections which serve as a running track : 1° for wheels with horizontal axes which carry the extra weights of the overloaded parts of the tank (by the working room, the air and water compressors) and part of the weight of the driving trucks ; 2° for wheels with

vertical axes which, placed at each end of the car, insure its correct running.

The load per axle seems high in the first case. It will seem less if it be noticed that the diameter of the axle arms is double that used for railways, and if it be borne in mind that the velocity is but 1 metre per second. Then it is seen, by the second example, how much available space still remains if it be desired to increase the number of axles. It may be considered, in this second example, that it would have been better not to throw so much work on the rack, and to have a better distribution of the load over the ground, and not to carry nearly the whole of this load on two single rails. It would be very easy to add two others and to require them to support a part of the weight and take care of the direction.

These two examples are enough to show that the total load can be spread over the wheels under conditions which allow of providing for accidental overloads of the class of those against which it is possible to take precautions.

The possible play of the springs has however very serious disadvantages in the matter of the use of a rack. This can be remedied, as has been proposed in sundry projects, by taking racks with vertical teeth set along the sides.

The project which received the first prize solves the question in a more ingenious way. It involves the use of two motors, each independent of the other. Each has its own parts for reducing velocity, and its own pinion, on a horizontal axle, gearing into the rack. It is carried on a small car, wholly distinct from that of the tank into which it is merely keyed, and to which it is connected by an elastic attachment. It pushes or holds back the large car by the pressure of the frames which bound it, and it bears, partly on the projecting parts of the rack by wheels of its own, and partly on the rack itself by a pinion, but always with a constant weight whatever may be the load of the tank.

It has been proposed several times, under former conditions, to make the tank slide on hydraulic shoes instead of making it run on wheels or rollers. The difficulties or disadvantages of the system are known: — it is not worth while to dwell upon them in view of the few propositions having the use of these affairs in view.

To make this article complete, let the method be mentioned which aims at solving the difficulty arising from the weight of the tank, by suppressing nearly the whole of this weight

by means of electro-magnets placed on the long sides, and remaining during the movement at an exceedingly small distance, but, of necessity, rigorously constant, from two armatures carried on brackets along the track. It is not to be doubted that it is possible, in principle, to realize with sufficiently massive armatures and sufficiently small distances a carrying force of the size in question, but it is hard to be as sure about the possibility of keeping this very small distance invariable elsewhere than in the laboratory.

A very essential point has not attracted the attention of most of the authors of projects as much as it should have done : it is the study of the means for reducing sufficiently the effect of changes of velocity either on the water in the tank, or, and above all, on the floating boat.

Many have been content to remark that the gentleness of the start obtained by the action of electric motors, carries an important element of safety. It has even been proposed to regulate the acceleration rigorously by making the successive positions of the manœuvring handle on the points of the rheostat depend automatically on the successive positions of the car on the plane. That is possible, and there is no doubt that, done automatically, or merely intrusted to the driver, the operation may be very gentle. But that, however, is not enough, were it only by reason of the chance of a sudden stop in case of accident.

A more attentive study of this question is to be noted in two projects.

It is proposed in one to arrange near the surface of the water, on each of the long sides of the tank, five cylinders, in which pistons, moved by compressed air, can have a stroke of 1 metre. The heads of the rods, coming inside of the tank, rest against the sides of the boat ; they can be connected by tie rods articulated at the joint, and the whole be furnished with elastic mattresses. The bearing surface should be so large that a sufficiently strong total pressure should only correspond, per unit of surface, to a strain incapable of compromising the stiffness of the boat. The method of construction is such that the piston rods, not passing through stuffing boxes, are in position to sustain without injury stresses normal to their direction which may be caused by the action of inertia on the mass of the boat, and even the slight displacement which may be its consequence, and which it is easy to limit to a small amount. The number of presses is small

enough not to introduce an inadmissible complication into the operations.

A very interesting proposal is found in the second of the projects mentioned. It consists in laying on the bottom of the tank pneumatic tires of quite large diameter and in letting the boat rest lightly upon them. It is not a question, in principle, of keeping the boat out of the water, and it is certain that partial grounding has been suggested already, but not, so far as known, under such acceptable conditions. According to the calculations of the authors it would be enough to have about $\frac{1}{5}$ of the weight of the boat rest on the tires, to prevent any motion of the vessel, even in case of a sudden stop when the tank was moving at the rate of 1 metre per second. This resting of $\frac{1}{5}$ of the weight of the boat on the tires, the draught being 1 m. 80. would involve leaving a height on only 0 m. 36 out of water. It appears that, under these circumstances, the sides are sufficiently supported and that the parts of the bottom placed on the elastic air mattress are not too much strained in relation to the adjoining parts on which a sufficient water pressure acts. It would be preferable, doubtless, to arrange the tires crossways and not lengthways, which would have, among other advantages, the one of keeping the whole stratum of water of corresponding height from moving in a body, and to cover them with an envelope easily fastened to the bottom of the tank and more flexible than sheet iron. It is easy to see that a tire so placed will last much longer than those which stand very great amounts of wear on the wheels of automobiles. The degree of grounding should be easy to regulate by the mere reading of a manometer. If the boat were only brought to a light contact, there would be in this a useful precaution against the chance of its dragging too brutally on the bottom in case of a sudden displacement of the water.

Here then are means which should give, when combined with others, such a degree of security that, even did a sudden rush of water take place as the result of an abrupt stop, the boat would run no risk of damage. Some of the other means of protecting the boat are : secure fastening to the tank, which should never be neglected under any circumstances, and movable bulkheads like those proposed formerly by Peslin.

It is not more necessary here, than for projects belonging to other categories, to dwell on the tightness and the working of the gates of the tanks and of the levels of the canals. The

problem is the same in all cases, and it has been solved satisfactorily in existing plants. But it may be noted that it is easier to hold the tank of an inclined plane tight against the end of the upper level than it is to hold that of any other system using a movable tank.

It is seen that the evolution noted progressively in the ideas on the subject of the organisation of inclined planes, has become more and more marked toward ending in the self-moving tank car, driven by electricity, borne simply on wheels, like any ordinary vehicle, stripped of long traction members of doubtful safety and of the worries of the very accurate balancing which complicated the plants first considered. It is true that this applies only to planes having a gentle slope — but is it too much to conclude that, as things are now at least, if an inclined is to be built, it must be made with a very gentle slope? There is every appearance that it can always be accomplished, and it is certain that even so it is possible to overcome very high lifts.

VI

All these machines, to whatever category they belong, demand a certain expenditure of motive power, but it is only important in the case of inclined planes built in accordance with the conception here set forth. A power plant capable of furnishing 1,200 to 1,500 H. P. must be provided in this case not that it must give such strength all the time, but because of the exigencies, which it may have to face temporarily arising from the independence of the cars, and accidentally in case of having to run with a single tank.

It is not necessary to dwell on the conditions for producing the necessary energy; that is a matter of every day mechanics. The same may be said of the arrangements presented for the distribution of the current, which raises no problem that electricians are not prepared to solve.

One remark, however, must be made. It has been seen that, in the projects for locks where the maximum use of storage basins has been made, the expenditure of water for a complete lockage can be reduced, so it is believed, to 5,000 cubic metres. For a height of fall of 36 metres this corresponds to a theoretical work of 180,000,000 kilogrammetres (= 1,302,000,000 ft lbs).

To raise a tank, weighing with its car 2,200 tons, to the same height requires a theoretical expenditure of 80,000,000 kilogrammetres, so that even allowing for what the apparatus to be used can accomplish, the water required for a lockage would be better to say the necessity, of providing electric recovery. It would be better to say the necessity, of providing electric recovery.

Is there then enough water in the canal to allow the expenditure necessary for working the locks? If so, the generating station can be run by this same water in the case of the use of inclined planes.

If the use of locks be desired but no expenditure can be allowed? Under existing conditions, if the surest means in this case is to lift back, by means of pumps, the water used for each lockage, it will be necessary to build a more powerful plant than that which would suffice to run an inclined plane.

In fact, most of the competitors have merely provided central stations with steam engines. One of them, however, remarking that every canal should possess normally, during at least a part of the year, a water supply in excess of losses by leakage or evaporation, proposed to use the water of the upper levels at these times; and, in times of shortage, to have an installation of gas motors. The organization of this combination was studied out.

Is it worth while to go to the expense of this double plant? The question must be answered according to local conditions.

Then it must be considered not only as possible but very probable that, hereafter, the new great canals will be supplied along the route, with a power distribution for drawing boats, and then the necessity of organizing a plant at the foot of each step will disappear. Is the lift to be overcome by an inclined plane? The ascending tanks will take the current they need from the main circuit; the descending tanks will give back the current generated by their braking devices.

Regularity of traction on canals so equipped will be obtained under wholly new conditions, and for this reason, without there being any necessity for a great increase of the rate of movement, the speed of transportation will exceed greatly that which is reached at present. There will be less time lost on the way, and this will further increase the advantage that the boats will obtain by encountering the least number of

obstacles, and, if that be possible, by overcoming them by a single operation. It is to this, as every one knew already, that inclined planes are better adapted than any other apparatus, as they differ from each other, for very different lifts, only in the greater or less length of the track, and conform, consequently, better than anything else, to the condition of general adaptability sought by the programme.

This greater activity assured to circulation has, however, no influence on the possible accomplishment of a canal. That imposed by the programme of the competition is high : thirty boats each way every twenty-four hours. All the projects claim to be able to realize it, and it really seems that, in principle at least, if all move in conformity to a programme tightly drawn at times, all or nearly all can do it. At all events, inclined planes are not inferior to locks in this respect, and still less so are lifts which give a very much greater hoisting speed. Most of the authors of projects for inclined planes assumed an average speed of translation of 1 metre per second, which seems perfectly acceptable and which could be easily exceeded, if the precautions taken to make sure of the behavior of the boat and the water in the tanks be sufficiently effective. Taking one metre as the speed, the time required to move over a plane 800 metres long would be 13 1/2 minutes ; there would remain then 34 minutes for all the operations, opening and closing the gates, taking the boat in and out, adjusting the water level. This is a great deal when compared with the times given for the Louvière and the Fontinettes lifts, even considering that the boats mentioned in the programme are 67 m. long, while the ones handled by these lifts are only 38 m.

For an 18-metre lock with the multiple storage basins provided, it seems hard to believe that it would require as much as ten minutes to fill or empty it, thus making 20 minutes for a boat going either up or down. There would remain 28 minutes for manœuvres, more simple, it is true, and above all more easy than those in the narrow tank of a mechanical apparatus, except that all these manœuvres would be no longer for one boat but for two. This could be accomplished, apparently, with an 18-metre lock, but it becomes problematical for one of 36 metres.

Finally, for the cost of construction, the estimates accompanying the projects for inclined planes of gentle slope, without mechanical balancing, with double track and tank cars,

put the cost at about 5,000,000 francs, approximately \$ 1,000,000, including the power station.

The cost of a group of two locks with a lift of 18 metres each, and including storage basins, reaches the same figure ; that of a single lock of 36 m. is estimated generally at twice as much. In either case it is a question of single locks.

The cost of vertical lifts, the height being also supposed to be divided in two, would exceed that of locks to overcome the same division of difference of level. The big floating and revolving drum, which has been described, would cost less than a million francs more than an inclined plane.

VII

The general tendency is to increase as much as possible the load of the boats engaged in inland navigation. The vessels used on the large rivers have reached, in this way, a very high tonnage. There is no appearance however that, any attempt will be made at least for a long time to come, to give them access to canals except in a few special cases. If, then, the conclusions to be drawn from the examination of the projects sent to the Vienna competition should not extend to boats of all sizes, they may be applied at least within limits which are sufficiently wide to cover the needs of inland navigation and, consequently, to answer the question borne on the programme of the Congress.

What may these conclusions be ?

In spite of one ingenious, but very risky indication, it does not seem that the propositions classified under the category « Sundry » open the way to a general solution of the problem.

Vertical lifts of the types already carried out may surely be adapted to the imposed weights, but, aside from other considerations, those of cost would lead to dividing in two the difference of level in question, and, generally, to keeping to heights in the neighborhood of those which they are overcoming now.

But, for such heights, it seems possible to resort to locks. The sphere reserved to these apparatus until now would find itself thus greatly enlarged, provided that sacrifices in their simplicity be accepted, these sacrifices becoming greater with the desire more completely to economize water.

Beyond, inclined planes alone answer fully the conditions

of the programme, as they allow very different lifts to be undertaken with expenditures proportional merely to the heights. Can they be made sufficiently safe? The Düsseldorf Congress had already admitted this, as the wish was expressed there that an application should be made. That seems even much more probable now, at least so far as longitudinal planes with gentle slopes are concerned.

The happy initiative of the Austrian government will have called out, at any rate, an important contribution to the study of one of the most interesting problems of inland navigation.

Paris, December 1904.

A. DE BOVET.

627.06
INR
1905

ASSOCIATION INTERNATIONALE PERMANENTE

DES

CONGRÈS DE NAVIGATION

X^e CONGRÈS - MILAN - 1905

1. Section : Navigation Intérieure

3. Question

ÉTUDE

DES

Systèmes propres à racheter les grandes Chutes

ENTRE LES BIEFS DE CANAUX

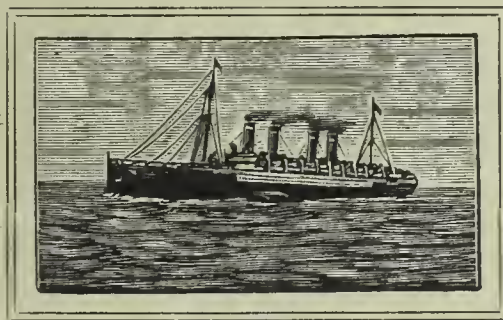
RAPPORT

PAR

M. Armand DE BOVET

Administrateur délégué

de la Société Générale de Touage et de Remorquage, à Paris



NAVIGARE

NECESSE

BRUXELLES

IMPRIMERIE DES TRAVAUX PUBLICS (SOCIÉTÉ ANONYME)

18, Rue des Trois-Têtes, 18

1905

SUR LES SYSTÈMES PROPRES

A

Racheter les grandes chutes entre les biefs de canaux

RAPPORT

PAR

M. Armand de BOVET

Administrateur délégué de la Société générale de Touage et de Remorquage à Paris

I.

Dans un rapport présenté au Congrès de Dusseldorf, M. Kuhn a exposé comment et pourquoi, en vue de l'exécution d'un canal projeté entre le Danube et l'Oder, le Gouvernement autrichien songeait à mettre au concours l'étude d'un appareil susceptible de faire franchir en une fois de grandes chutes à des bateaux de navigation intérieure.

Ce concours a été effectivement ouvert depuis. Comme il fallait bien mettre les constructeurs en présence des données précises, nécessaires à l'élaboration du projet susceptible d'être exécuté, on a choisi, sur le tracé du futur canal, au voisinage de Prerau, en Moravie, un point où, sur un terrain dont le levé de détail était donné aux concurrents, les deux biefs à relier sont séparés par une différence de niveau de 35 m. 90.

Il était demandé de fournir une étude complète de dispositifs (y compris les têtes de biefs et bassins de manœuvre) capables de faire franchir aux bateaux cette différence de niveau, toute latitude étant laissée aux concurrents pour le choix des appareils, à condition que ceux-ci :

1° Permettent de transporter des embarcations ayant au maximum 67 mètres de longueur, 8 m. 20 de largeur, et 1 m. 80 de tirant d'eau en charge ;

2° Réduisent au minimum la dépense d'eau ;

3° Assurent le passage possible et la sécurité complète de tous les bateaux chargés ou vides, admis à circuler sur le canal, quel que soit leur mode de construction et leur état ;

4° Se prêtent à assurer par 24 heures le passage de trente bateaux dans chaque sens et cela même avec des différences de

0 m. 20 en plus ou en moins dans le niveau d'eau moyen des biefs.

L'intérêt du problème est loin d'être limité au cas en vue duquel il s'est ainsi trouvé posé : c'est donc avec raison que le programme mentionnait enfin que la préférence devrait être accordée aux projets susceptibles de l'application la plus générale.

Cette question du franchissement des grandes chutes a été amplement discutée au Congrès de Dusseldorf, en 1902 ; aucun fait nouveau n'est survenu depuis, à notre connaissance, dans le domaine de la pratique, sauf, croyons-nous, l'achèvement en Amérique d'un ascenseur vertical. La question a été, cependant, maintenue à l'ordre du jour du Congrès de Milan, sans doute parce que la Commission d'organisation aura estimé qu'il pourrait être intéressant d'essayer de déterminer ce qui se dégage de l'ensemble des études présentées au concours de Vienne.

C'est ce que je voudrais tenter de faire, tout en m'excusant si je dois laisser à cet exposé une forme qui pourra être trouvée trop générale, car, d'une part, il ne saurait être question ici de rien qui ressemble ni à une apologie, ni à une critique des travaux du jury ; d'autre part, en ce qui concerne les projets récompensés, il ne s'agit pas de faire double emploi avec le rapport d dit jury ; et, enfin, il n'est pas possible d'entrer dans le détail des travaux qui, ayant été éliminés, restent la propriété de leurs auteurs.

En fait, le nombre des projets envoyés à Vienne s'est élevé à 198, certains d'entre eux comprenant dans un même numéro deux ou plusieurs variantes. 81 étaient *a priori* insuffisants, le surplus se partageait en 34 projets d'ascenseurs, 24 projets d'écluses, 32 projets de plans inclinés et 27 divers.

Après une série d'éliminations successives, il restait un nombre encore fort respectable de travaux d'une réelle valeur, d'où sortirent enfin ceux qui eurent la bonne fortune d'obtenir de la majorité, parfois de la quasi-unanimité du jury :

Un premier prix donné à un projet de plan incliné ;

Un second prix attribué à un projet d'élévateur tournant ;

Des propositions d'achat faites en faveur de deux projets de plans inclinés, et d'un projet d'écluse ;

Des mentions accordées à deux projets de plans inclinés et trois projets d'écluses ;

Soit, sur un total de dix projets réservés, cinq études de plans inclinés.

Cette proportion avait commencé à se manifester bien avant le classement définitif : elle semblera, croyons-nous, toute naturelle, après les indications que nous pourrons donner sur les diverses catégories de travaux présentés au concours. Mais il y a lieu d'abord d'ajouter ici une remarque qui les intéresse tous.

Le terrain sur lequel doit être établi l'ouvrage projeté est d'allures régulières et à pentes modérées : l'inclinaison d'une ligne joignant les extrémités des deux biefs serait à très peu près de $1/20$. Une telle disposition du sol exigera évidemment des frais extrêmement considérables pour la création des accès à un ouvrage qui serait conçu pour franchir verticalement la chute totale en une seule fois.

L'ouvrage lui-même coûterait fort cher, car il dépasserait de beaucoup les limites à partir desquelles la dépense de construction s'accroît beaucoup plus vite que la hauteur à laquelle il faut s'élever.

Cette observation n'est pas seulement intéressante pour l'appréciation des projets établis en vue du terrain de Prebau. Il est à présumer, en effet, que même lorsqu'il s'agira de tracer un canal à travers une région relativement difficile, ce n'est que bien exceptionnellement qu'on risquera de se trouver en présence de terrains escarpés.

II. — Elévateurs divers.

Nous avons groupé dans cette catégorie des dispositifs divers dont beaucoup doivent franchir la chute totale en une seule fois, en dépit de la mauvaise appropriation du terrain à cette conception.

Dans un assez grand nombre de ces projets les auteurs proposent d'introduire le bateau dans une grande chambre close, susceptible de s'immerger, qu'on pourrait qualifier de sas plongeur. La conception est facile à comprendre. Le sas est formé d'un cylindre assez long pour contenir un bateau de 67 mètres, d'un diamètre d'environ 9 mètres, muni de portes aux deux extrémités, avec le long de la partie inférieure des sortes de compartiments de water-ballast, grâce auxquels, en faisant varier la quantité d'eau contenue, on peut donner à l'ensemble un poids inférieur ou supérieur à celui du volume d'eau déplacé. Lège, il flotte à la surface d'un grand puits en maçonnerie ou en béton armé, et peut être accosté à l'extrémité du bief supérieur ; chargé, il descend dans ce puits,

dont la section est suffisante pour le contenir avec ses guidages, et vient jusqu'au niveau du bief inférieur, tel un ludion.

Seulement c'est un bien grand ludion, difficile à guider, qui doit résister, en bas, sans perdre ni sa forme ni son étanchéité, à une pression de plus de trois atmosphères : la fermeture du sas seul ; la fermeture combinée, à la partie inférieure, du flotteur et du sas, sont malaisées. L'ensemble, s'il a l'avantage de ne pas dépenser d'eau, prête évidemment à beaucoup d'objections.

Les autres projets appartenant à la quatrième catégorie se répartissent à peu près tous entre des systèmes tournants ou des systèmes oscillants.

Sauf une exception, sur laquelle nous reviendrons, les premiers dérivent des grandes roues, telles qu'il en a été installé dans beaucoup de villes importantes pour l'amusement des populations. Les cabines pendantes mises à la disposition du public sont ici remplacées par deux sas. La roue doit avoir environ 70 mètres d'épaisseur, et un diamètre tel qu'un point pris sur le plan d'eau d'un sas décrive verticalement une circonférence de 35 m. 90 de diamètre.

Parmi les seconds, les uns, construits pour tourner autour de leur axe de figure, se composent en réalité de deux secteurs d'une grande roue. L'oscillation des sas devant être égale à la hauteur à racheter, l'ensemble arriverait à des dimensions énormes, mais le système, ici, se prête à la division de la chute que les auteurs ont généralement proposé de répartir en deux. L'appareil exige que chacun des biefs amont et aval vienne se terminer en deux branches desservant chacune un des côtés de l'ascenseur. Les autres sont des appareils à balanciers oscillant autour d'axes installés au voisinage de la surface du sol : ils transportent, en général perpendiculairement à la direction de l'axe de rotation, un sas équilibré par des contrepoids : si on veut un ensemble à double effet, il en faut disposer deux l'un à côté de l'autre, et alors encore diviser en deux branches les extrémités des biefs.

Sur le papier, et si on fait abstraction de l'échelle du dessin, tout cela peut paraître très ingénieux. Si on veut réfléchir aux dimensions vraies, considérer que chaque sas avec l'eau et le bateau qu'il contient doit peser plus d'un millier de tonnes suspendues aux bras autour desquels elles doivent tourner librement, que ces poids, augmentés de ceux de la roue ou des balanciers sont à reporter sur un axe unique (sur deux dans certains appareils à balanciers), voire sur une série de rouleaux, force

est de reconnaître qu'on se trouve en présence de difficultés d'exécution et d'aléas d'exploitation auxquels il est sage de ne pas s'exposer.

Un appareil, cependant, appartenant au groupe qui nous occupe, a retenu particulièrement l'attention du jury et, finalement, obtenu de la majorité une des premières récompenses du concours. Nous lui devons une mention spéciale, d'autant plus que la solution est, au point de vue mécanique, d'une ingéniosité tout à fait remarquable.

C'est un grand tambour de 52 1/2 mètres de diamètre et de 70 mètres de longueur, dont les deux bases et toute la surface cylindrique sont fermées, couvertes par des tôles rivées.

Il n'a pas d'axe de rotation et flotte simplement dans un bassin plein d'eau, formant prolongement du bief inférieur, d'où suppression de toute difficulté pour établir les fondations et supporter correctement un poids formidable. Sur la circonférence des deux bases sont attachées des roues dentées engrenant avec des pignons calés sur l'arbre moteur, installé au bord du bassin parallèlement à l'axe du cylindre. Les centres de ces deux bases sont reliés à cet arbre par deux bielles ; celui de la base arrière est rattaché au mur de fond par un arrêt qui ne peut que glisser dans une coulisse centrée sur ce même arbre, de sorte que, en réalité, le tambour ne peut que : ou tourner sur lui-même, sous l'action des pignons moteurs, ou, s'il doit subir des déplacements quelconques, du fait de sa charge, ou des variations du niveau de l'eau, etc., etc., tourner autour de l'arbre qui porte les pignons. Ceci, bien entendu, sous réserve des déformations possibles, et surtout des mouvements parasites que peut permettre le jeu qu'il est indispensable de laisser entre les dents des roues et des pignons.

Les deux sas cylindriques dans lesquels doivent pénétrer les bateaux et qui sont amenés successivement, par la rotation du tambour, aux niveaux des biefs inférieur et supérieur, sont fixes par rapport au reste de la construction du tambour dont ils font partie. Pendant la rotation, l'eau contenue dans ces sas reste à leur partie inférieure avec le bateau qu'elle porte attaché à une sorte de gril en bois qui l'entoure, mais qui doit le laisser libre d'accompagner le mouvement qu'elle prend par rapport aux parois.

Avec ses sas normalement chargés, avec toutes les dispositions destinées à assurer sa rigidité, le tambour pèse dix mille tonnes. La vitesse de rotation est lente, l'équilibrage parfait : il suffit, pour assurer les manœuvres, d'une machine de 75 à

80 chevaux. La liaison avec le bief supérieur est prévue dans une forme parfaitement acceptable et l'ensemble étudié avec le plus grand soin semble bien être en état, comme l'assurent les inventeurs, de résister à tous les efforts auxquels il peut être exposé, voire même aux conséquences possibles de la vidange accidentelle d'un sas. La conception étant par ailleurs très séduisante, il n'est pas étonnant qu'un tel projet ait été très remarqué. Il est permis cependant de conserver des doutes au sujet de l'application spéciale en vue de laquelle il a été établi, et, si grande que l'on estime la sûreté de fonctionnement du tambour lui-même, de se demander s'il y a une sécurité suffisante pour le bateau flottant librement dans un sas entraîné dans le mouvement de rotation de l'ensemble. Il faut considérer, en effet, que soit sous l'action du vent, soit sous celle des vagues qui peuvent se propager dans le bassin inférieur, les mouvements parasites possibles auxquels nous avons fait allusion peuvent se traduire par des inclinaisons très sensibles de l'axe du tambour par rapport à un plan horizontal. mouvements que l'action de l'eau contenue dans les sas tendra toujours à accentuer, jamais à corriger.

De même que les grandes roues, un tel appareil ne peut s'adapter qu'à des chutes déjà assez élevées, soit d'au minimum 20 mètres, et ne saurait pratiquement être étendu à des dénivellations sensiblement supérieures à celle en vue de laquelle il a été étudié.

Pour être complet, il y aurait encore lieu de mentionner les études d'élévateurs que l'on pourrait qualifier de roulants, comprenant :

Le projet, déjà connu par des publications antérieures, qui consiste à rouler d'un bief à l'autre, sur les deux pentes d'un plan incliné à sommet, un sas cylindrique fermé contenant un bateau flottant. Il provoque les mêmes objections que le tambour ci-dessus sans pouvoir se réclamer des mêmes mérites.

Un système composé de deux grandes roues éloignées l'une de l'autre de la longueur des sas qu'elles supportent et qui, roulant sur le sol dans un sens, prennent ce sas dans l'eau du bief supérieur pour le porter dans l'eau du bief inférieur et le ramènent en roulant en sens inverse. L'équilibre est réalisé par des contrepoids : il n'y a pas à insister sur les difficultés d'une telle construction.

Tous ces appareils ont l'avantage de réduire à rien la consommation d'eau : à tous manque à un très haut degré le caractère de généralité désirable. Ils témoignent d'une remarquable

fertilité d'invention, mais se heurtent à des difficultés de construction inquiétantes, ingénieusement diminuées dans l'un d'eux, mais au prix de sacrifices sur la sécurité du bateau transporté.

Il reste, à notre avis, douteux que ce soit dans cette voie que l'on puisse espérer une solution générale du problème.

III. — Ascenseurs verticaux.

En dehors de quelques rares dispositifs plutôt fantaisistes, les projets de cette catégorie n'ont fait que reproduire les dispositions connues déjà, soit par les applications qui en ont été faites, soit par les propositions dont elles ont antérieurement été l'objet : ascenseurs funiculaires, ou à flotteurs, ou à pistons adaptés au poids qui était imposé et disposés les uns pour une élévation de 36 mètres, les autres pour une élévation de 18 mètres.

Les appareils de 18 mètres obligent à franchir la chute totale en deux fois, mais, conformément à la remarque faite plus haut, ceux de 36 mètres exigent une dépense d'installation sensiblement plus élevée que l'ensemble des deux ascenseurs de hauteur moitié moindre.

A ne pas tenir compte de cette dépense, la difficulté, pour les appareils funiculaires, vient de la grandeur des poids à élever bien plus que de la hauteur d'élévation. La nécessité de multiplier les organes de suspension, la difficulté de se prémunir contre les dangers pouvant résulter de la rupture de quelques-uns d'entre eux, l'obligation, par conséquent, d'assurer constamment l'égale répartition des charges, ont provoqué l'étude de mécanismes fort ingénieux, de combinaisons de balanciers plutôt compliquées, mais justement trop ingénieux et trop compliqués étant donnés les efforts auxquels ils doivent être soumis. On a hésité devant la réalisation de dispositions plus simples et paraissent assez sûres, alors qu'il ne s'agissait que de lever des bateaux de 300 tonnes.

Pour les ascenseurs à flotteurs, l'appareil capable de monter des bateaux 600 tonnes existe. Les modifications qui ont pu y être proposées n'ont pas paru être des améliorations. Il semble, par exemple, difficile de juger telle la disposition consistant à utiliser une seule cloche de 70 mètres de diamètre, le sas occupant modestement un diamètre sur le couvercle.

Pour les appareils à presse, la difficulté serait plutôt dans

l'augmentation de la hauteur que dans l'accroissement du poids. En tant qu'accepter la division de la chute en deux étages, il n'est pas douteux que des propositions qui reproduisaient les dispositions connues, avec deux sas conjugués à côté l'un de l'autre, des diamètres de presse appropriés au poids en vue, un guidage central, ne laissent place à aucun aléa. Il y en aurait plus dans l'organisation, déjà proposée antérieurement, comprenant un seul sas à chaque chute, les deux s'équilibrant toujours l'un par l'autre par l'intermédiaire d'une conduite à très haute pression de plusieurs centaines de mètres de longueur.

En somme, dans la catégorie des ascenseurs verticaux, si l'on veut écarter les solutions ou trop hasardeuses ou trop coûteuses, on ne peut que constater que le concours n'a rien produit en dehors de ce qui était déjà antérieurement connu.

IV. — Ecluses.

Il n'y a pas à insister sur quelques rares projets comportant des escaliers d'écluses nombreuses pour lesquels il n'eût pas été besoin de recourir à un concours.

Il y a lieu, au contraire, de mentionner des projets étudiés en vue d'assurer l'éclusage sans dépense d'eau, soit au moyen de grands flotteurs, d'après les idées exposées au Congrès de Dusseldorf dans le rapport de M. Schnapp, soit en faisant intervenir dans de grandes chambres complètement closes et suffisamment étanches, l'action de pompes pneumatiques pour produire les mouvements de l'eau dans le sas. Dans l'un et l'autre cas la chute n'est pas franchie en une fois, mais divisée en deux ou en trois gradins.

En ce qui concerne le premier, même avec des hauteurs ainsi réduites, les flotteurs conservent des dimensions très considérables : leur installation est d'un prix élevé et la manœuvre de telles masses est loin d'être chose simple.

En ce qui concerne le second, indépendamment de la difficulté de construction et d'entretien de très grandes chambres suffisamment étanches, il n'est pas possible de ne pas observer que le pompage de l'air est une opération d'un bien mauvais rendement. S'il y a nécessité à disposer un ouvrage capable de fonctionner sans aucune dépense d'eau, ne serait-il pas plus simple de pomper simplement du bief inférieur dans le bief supérieur l'eau dépensée pour une éclusée, eau dont la quan-

tité peut être déjà très réduite par l'emploi de bassins d'épargne ?

Les autres projets de la même catégorie abordent franchement l'étude d'écluses de très grande hauteur, les unes de 18 mètres, les autres de 36 mètres. Tous recourent à l'emploi du béton armé avec de très nombreux étages (en général 6 ou 12) de bassins d'épargne ménagés dans la totalité du massif de béton qui entoure le sas. Ainsi conçue, l'écluse n'est plus une fosse à peu près complètement enterrée dans le sol, mais constitue un grand massif tout à fait dégagé et entièrement accessible sur trois de ses faces. Des puits ménagés dans le massif communiquent à la partie inférieure avec le fond du sas, et sur les divers points de leur hauteur avec les bassins d'épargne successifs par des ouvertures fermées par des vannages — notamment par des vannes cylindriques qui sont d'un usage éprouvé.

Il faut, naturellement, que la manœuvre successive des vannes à mesure que l'eau monte ou descend, se fasse très vivement et sans aucune perte de temps : elles sont à l'ordinaire actionnées par des moteurs électriques. Il a été proposé de faire fonctionner automatiquement la commande de ces appareils par l'intermédiaire de flotteurs disposés dans le sas : mieux inspirés, à notre avis, sont les auteurs qui ont franchement laissé la commande aux soins d'un éclusier.

Il semble bien qu'avec ces nombreux bassins d'épargne à très grande surface et avec les dimensions qu'il faut donner au sas pour le passage des bateaux prévus, la dépense d'eau pour une éclusée (un bateau montant et un descendant) peut être réduite à environ cinq mille mètres cubes, soit une économie des trois quarts de volume d'eau d'un sas unique d'une écluse de 36 mètres ou du double sas de deux écluses de 18 mètres.

Avec ces dernières, il faut naturellement disposer d'un bief intermédiaire assez vaste pour que le niveau de l'eau n'y soit pas influencé de façon excessive par le fonctionnement des écluses et pour que les bateaux s'y puissent croiser afin qu'il ne soit pas nécessaire de faire franchir à celui qui va dans un sens le double gradin avant d'admettre celui qui va dans un sens inverse.

Même ainsi le prix d'une double écluse est infiniment moindre que celui d'une écluse unique de hauteur double : moitié d'après les devis fournis avec quelques projets. En dépit de l'avantage qu'il y aurait à transporter un bateau d'un bief à l'autre en une seule opération, si l'on estime, comme cela semble vraisemblable, que la construction d'un ouvrage de près de

40 mètres de hauteur serait en l'état actuel un peu hasardeuse, on voit que la prudence se trouve tout à fait d'accord avec les exigences d'une saine économie, tout comme dans le cas des ascenseurs et plus encore ici que dans le cas des ascenseurs.

Même ainsi, il n'en reste pas moins que le concours a apporté, en ce qui concerne les écluses, des études très intéressantes, des projets qui semblent parfaitement acceptables et dont la réalisation, si elle répond aux prévisions, étendrait considérablement le domaine qui leur a été jusqu'ici abordable. Evidemment, l'appareil perd beaucoup de la simplicité dont on s'est plu à lui faire un mérite essentiel, mais il arriverait à atteindre, à des prix parfaitement admissibles, jusqu'aux élévations que seuls les ascenseurs ont encore permises et dont on peut estimer qu'elles sont bien près de la limite qu'ils ne pourraient pas beaucoup dépasser sans dépenses exagérées.

V. — Plans inclinés.

Dans les appareils des deux premières catégories il y a nécessité de réaliser un équilibrage aussi parfait que possible, soit des deux sas l'un par l'autre, soit d'un sas par des contrepoids d'où résulte la nécessité, les bateaux pouvant être inégalement chargés ou de dimensions diverses, de les transporter flottant dans un sas à niveau constant.

Avec les plans inclinés naît la question du transport à sec ou à flot. Le premier a l'avantage de diminuer dans une forte proportion l'importance du poids à traîner : il a été fourni plusieurs études dans ce sens. Si cependant il faut pouvoir transporter tous les bateaux qui se présenteront, à la seule condition que leurs dimensions n'excèdent pas les maximums indiqués, qu'ils soient grands ou petits, chargés ou vides, en fer ou en bois, neufs ou déjà vieux (et il semble bien que le programme doit s'entendre ainsi), il n'a pas paru que rien dans les projets présentés répondit d'une façon satisfaisante à cet ensemble de conditions et offrit une suffisante sécurité. Avec telles dispositions compliquées multipliant, par exemple, hors de toute mesure des systèmes de presses ou de balanciers, l'économie de poids devient faible et la sécurité, non plus du bateau seul, mais de l'appareil lui-même, apparaît incertaine.

Le plan doit-il être longitudinal ou transversal ? Il y a eu des projets de chaque catégorie, mais bien moins nombreux de la seconde. Cela s'explique de soi-même car, en l'espèce, la forme

du terrain appelle un plan longitudinal à moins d'abord des travaux de terrassements d'une ampleur exagérée. A un point de vue plus général, d'autres circonstances de tracé pourraient, sans doute exceptionnellement, mais enfin pourraient mettre en présence d'une très forte pente qui justifierait l'emploi d'un plan transversal. Avec les avantages qui lui sont propres, cette disposition offre quelques difficultés qui lui sont propres aussi, notamment pour assurer sous l'action simultanée des organes d'équilibrage mécanique qui sont ici indispensables et des appareils de propulsion ou de traction la translation correcte d'un chariot de très grande largeur qui n'est guidé que sur une très petite longueur dans le sens du mouvement. La préoccupation de cette difficulté spéciale n'apparaît que d'une façon insuffisante dans les études présentées : comme elles n'offrent, par ailleurs, à travers souvent beaucoup de complications, rien de particulièrement saillant, le mieux est de renvoyer aux indications qui vont suivre et sont dans une large mesure applicables aussi bien aux plans transversaux qu'aux plans longitudinaux.

Plusieurs auteurs ont étudié des plans à deux pentes opposées et à sommet permettant de venir prendre le bateau dans l'eau d'un des biefs, pour l'emmener dans l'autre. Beaucoup, dans ce nombre, recouraient au transport à sec qui, n'étaient ses inconvénients propres, se prêterait avec une facilité relative aux changements de pente. D'autres, écartant le transport à sec, ont étudié le transport du bateau flottant sur des plans à sommet. L'un d'eux portant le bateau en travers, accepte franchement le changement de pente du sas : ce peut être possible, mais avec les dimensions et les poids en jeu, cela paraît bien hasardeux. Les autres, prenant le bateau en long, ne peuvent s'accommoder du changement de pente pour le sas et, afin de le laisser horizontal, le suspendent à quatre chariots qui roulent sur des voies reportées au-dessus du sol, sur des constructions en métal ou en maçonnerie. Ces voies, chevauchant verticalement les unes par rapport aux autres, amènent toujours les chariots dans des positions telles que le sas conservera son horizontalité : elles permettraient à la rigueur de suivre sur toute la longueur du trajet la forme même du sol : elles doivent paraître dangereuses, vu la grandeur des poids à répartir sur de très rares points de suspension et à coup sûr coûteuses.

Si l'on écarte l'emploi d'un plan à sommet, il faut nécessairement avoir une tête sèche à l'extrémité du bief supérieur : il reste toujours possible d'immerger le chariot dans le bief infé-

rieur, et de nombreux projets l'ont prévu, au moins à titre facultatif. Les variations qui, de ce chef, se produisent dans les efforts moteurs, au moment du démarrage ou de l'accostage, ne sont pas inacceptables, mais une telle disposition se concilie assez mal avec l'emploi des moyens qui, comme on le verra par la suite, semblent les meilleurs pour produire le mouvement des chariots.

Restent les plans longitudinaux, à voie droite et à pente uniforme, avec têtes sèches en haut et en bas, sur lesquels il s'agit de transporter à flot un bateau au moyen d'un chariot à sas dont le poids total arrive à être d'au moins deux mille tonnes. C'est dans cette catégorie que le jury a estimé trouver les projets les meilleurs, et il sera certainement intéressant de constater les différences profondes qu'ils présentent par rapport aux premières conceptions de plans inclinés.

Tous, ou bien peu s'en faut, ont adopté une pente épousant au plus près la forme du sol, soit aux environs de $1/20$ ou $1/25$, correspondant à une longueur de voie voisine de 800 mètres.

Tous, ou bien peu s'en faut encore, ont placé sur le chariot les moteurs destinés à le faire mouvoir. On est, depuis longtemps, généralement d'accord sur les avantages de cette disposition. Elle s'imposait, du moment où elle devenait possible : difficile avec des moteurs à vapeur et des chaudières, elle devient facile grâce aux moteurs électriques. Cela est également vrai pour un plan en travers et pour un plan en long.

L'appareil étant prévu à double effet, plusieurs sont étudiés avec équilibrage mécanique des deux sas l'un par l'autre ; un plus grand nombre suppriment cet équilibrage, et cela paraît rationnel. Ce n'est pas tant parce qu'ainsi disparaît toute difficulté pour assurer l'accostage simultané en haut et en bas. C'est surtout parce que, sur la très faible pente à considérer, et avec la grande longueur de voie qui en résulte, les organes d'équilibrage (des câbles, en général, dans un projet une forte tige rigide, articulée, soutenue de distance en distance par de petits chariots spéciaux), entraînent en somme plus de complications qu'ils n'apportent d'avantages. Au point de vue de la sécurité, de bons moyens de freinage sont à coup sûr suffisants sur une déclivité aussi réduite. Au point de vue de l'économie de travail, étant donné qu'un certain degré de récupération est toujours possible à réaliser électriquement, la différence compense-t-elle les frais d'installation, de surveillance et d'entretien des multiples supports, poulies et rouleaux nécessaires pour soutenir de longs câbles ; les précautions qu'il faut prendre pour compenser

leur allongement et assurer leur réglage ? Compense-t-elle, surtout, les avantages résultant de l'indépendance complète des deux sas ? Poser la question, c'est y répondre. Les avantages résultant de cette indépendance sont tels qu'il a été proposé d'équilibrer chaque sas individuellement par des contrepoids qui lui sont propres, mais on rentre alors encore bien plus dans des complications qui, en fin de compte, coûtent plus que l'économie réalisée.

Les sas ainsi rendus autonomes peuvent être manœuvrés par un conducteur placé dans une cabine installée sur le chariot — cela ne présente avec l'emploi du courant électrique aucune difficulté — et non plus par un homme qui les conduit de loin.

Non seulement ils peuvent aborder chacun pour leur compte les têtes de biefs, mais, en cas d'avaries ou de réparations, ils peuvent fonctionner seuls sur tout le parcours, assurant ainsi la possibilité de ne pas arrêter complètement le service sans qu'il soit besoin pour cela de doubler le plan par l'escalier d'écluses qu'on s'est souvent félicité d'avoir à côté d'un ascenseur et qu'on a projeté d'établir à côté d'un autre.

Naturellement, le sas descendant doit être retenu : il est tout indiqué de le freiner en faisant fonctionner comme génératrices les dynamos qui, pour la montée, servent de machines motrices. Ce mode de freinage ayant une douceur à laquelle nul autre ne peut prétendre, les freins ordinaires sont à réserver pour les cas d'arrêts ou d'accidents. Les dynamos ainsi utilisées deviennent productrices de courant ; celui-ci, durant les périodes de manœuvres où il a une allure très variable, peut être perdu dans des rhéostats ; il doit naturellement être utilisé pendant les périodes de marche normale. La récupération électrique est donc non seulement possible, mais à peu près forcée. Elle peut être faite avec des accumulateurs : le procédé a été indiqué par presque tous les auteurs, non recommandé, et l'accumulateur, en effet, doit être considéré comme bien délicat pour de telles installations. En fait, pour indépendants que soient les sas, rationnellement le service doit être organisé de façon que l'un monte quand l'autre descend, le courant produit par ce dernier venant en déduction de ce que le premier a à demander à l'usine génératrice, et la récupération de travail peut, dans ces conditions, atteindre environ 45 %. En cas exceptionnel de marche avec un seul sas, il est possible d'utiliser comme appareil récepteur pendant la descente une pompe centrifuge remontant de l'eau du bief inférieur au bief supérieur. Ce procédé, qui correspond au minimum de récupération, peut encore faire retrouver environ 18 % du travail disponible, tous rendements comptés.

Naturellement, avec une telle organisation, les moteurs des sas sont appelés à produire des quantités de travail très diverses : les variations, cependant, restent de l'ordre de grandeur de ce qu'on peut demander en toute sécurité à des dynamos.

Tout ce que nous venons de dire pour justifier la suppression de tous organes d'équilibrage mécanique, ne s'applique évidemment qu'au cas de plans à très faibles déclivités. Sur des pentes plus fortes, les seules considérations de sécurité obligeraient soit à équilibrer mécaniquement l'un par l'autre, soit à équilibrer individuellement par des contrepoids les sas qui, sans cela, en cas d'accidents, risqueraient, quand ils auraient pris un peu de vitesse, de ne pouvoir plus être sûrement arrêtés par des freins. Il se trouve, parmi les projets présentés, des dispositions très judicieuses pour l'installation des câbles nécessaires et pour le réglage de leur longueur, au moyen d'un petit nombre de balances hydrauliques. De telles dispositions trouveraient naturellement leur emploi dans le cas de plans inclinés en travers.

Sur les faibles pentes considérées, il est possible de faire cheminer le sas par simple adhérence, et cela a été proposé. Deux objections se présentent contre l'emploi de cette méthode. La sécurité de marche peut être insuffisante, quand il gèle assez pour que les rails se couvrent de glace sans que, cependant, les froids soient assez vifs pour arrêter la navigation. Puis, il faut nécessairement rendre motrices sinon toutes, du moins presque toutes les roues du chariot, d'où nécessité d'employer un très grand nombre de moteurs qui exigent chacun une importante démultiplication. Il semble donc préférable, comme presque tous les concurrents l'ont proposé, de recourir à l'emploi de crémaillères ; l'augmentation de dépenses de la voie est tout au moins atténuée par la simplification des mécanismes moteurs, la sécurité est beaucoup augmentée, d'autant plus que la crémaillère permet l'introduction de moyens de freinage d'une très grande efficacité.

Avec une organisation ainsi comprise, il n'y a plus à faire aucune installation de mécanismes moteurs ou d'organes de transmission dans des conditions difficiles, sous les têtes des biefs supérieurs. L'équipement de chaque chariot-sas comprend : la charpente du chariot, avec ses roues ou rouleaux ; puis, la ou les dynamos motrices ; la cabine du conducteur avec ses rhéostats et appareils divers de manœuvre et de prise de courant ; une installation capable de fournir l'air comprimé nécessaire, notamment, pour assurer les joints de fermeture des portes ; éventuellement, une autre petite installation fournissant de l'eau

sous pression, si par exemple les dispositifs de freinage l'exigent. Le tout arrive à un poids qui ne s'écarte guère de deux mille tonnes, plutôt, du reste, en plus qu'en moins.

La difficulté de supporter un pareil poids en mouvement a été souvent opposée aux auteurs de projets de plans inclinés. L'objection a beaucoup porté et a provoqué la production ancienne déjà, de dispositifs susceptibles d'assurer en toutes circonstances l'égale répartition de la charge. Le principe est toujours l'emploi d'une assez grande quantité de presses hydrauliques, dont les pistons portent la charge totale, et dont les cylindres communiquent tous entre eux. Ils se retrouvent dans un certain nombre de projets, étudiés souvent avec beaucoup de soin et d'ingéniosité. En théorie, le procédé est parfait. En pratique, quand il conduit, par exemple, à avoir sur soixante-quatre trucks distincts, uniformément répartis sur la surface d'un seul chariot autant de presses hydrauliques, il y a toute apparence que l'ingénieur qui saurait devoir prendre la responsabilité de l'exploitation, verrait le projet dans un sentiment tout différent de celui de l'auteur. Et, de fait, il y aurait de quoi faire hésiter, s'il était vraiment inévitable de s'assujétir à pareilles complications. La plupart des auteurs ne l'ont pas pensé, estimant qu'un tel chariot peut être porté simplement sur des roues, au besoin par des rouleaux, et l'on ne voit pas vraiment en quoi cela serait irréalisable. Presque tous proposent d'employer des roues, les rouleaux ne sont guère indiqués que comme variante, et il est certain que l'obligation du relevage des chaînes de rouleaux apporte, elle aussi, une complication. On peut, il est vrai, l'éviter, en disposant des rouleaux sur la moitié de la longueur des rails, mais avec des voies très longues cela devient onéreux.

En général, les projets présentés admettent que le chariot est tout simplement porté par des roues, avec ressorts interposés sur des voies établies dans des conditions de grande rigidité, presque toutes prévues, avec traverses en fer noyées dans un important massif de béton. Il est facile de distribuer ces roues et de régler ces ressorts de façon à obtenir une répartition correcte de la charge : elles peuvent être en assez grand nombre, pour pouvoir subir les surcharges accidentelles qui ne sont à prévoir que du fait de ruptures éventuelles de l'une d'elles, ou des mouvements possibles de l'eau dans le sas, hors les cas d'accidents importants intéressant un grand nombre d'essieux ou une grande longueur de voie : mais, en réalité, il n'y a pas de système, quel qu'il soit, qui soit à l'abri d'un accident s'il a une

telle gravité. Un affaissement important de la voie, par exemple, ne semble guère pouvoir être que la conséquence d'un mouvement du sol, auquel cas, en dépit de la sécurité qui leur est volontiers reconnue, des écluses pâtiraient plus encore qu'un plan incliné.

Les dispositions des roues et des voies peuvent être très diverses. Comme exemples extrêmes, nous en citerons deux. Dans un projet préconisant la marche par adhérence, le sas est porté sur quarante essieux, répartis de chaque côté entre quatre trucks à quatre essieux, tous moteurs, et deux trucks à deux essieux, chacun simplement porteurs placés aux extrémités, d'où nécessité d'avoir huit moteurs. La charge par essieu est de quarante tonnes ; chaque essieu s'emmanche à son extrémité dans une roue formée de deux roues de chemin de fer accolées par leur boudin et roulant sur deux rails voisins séparés par l'épaisseur de ce boudin, d'où quatre fils de deux rails et pas de crémaillère, et sur la longueur de chaque rail seulement vingt roues. Dans un autre projet, celui qui a été le premier primé, le sas est porté sur seulement deux rails, et sur chacun d'eux, par une file de cinquante-deux roues. Les roues sont à jante cylindrique très large, circulant sur un très gros rail à tête plate, et portant chacune dix tonnes. Dans ce projet, la crémaillère, très robuste, a sur sa face supérieure une denture à chevrons, et latéralement, deux fortes saillies servant de chemin de roulement : 1° à des roues à axe horizontal qui portent les poids supplémentaires des parties du sas surchargées, par exemple, par la cabine de manœuvres et les installations de compresseurs d'air ou d'eau, et comme on le dira plus loin, partie des poids des chariots moteurs : 2° à des roues à axe vertical qui, placées en tête et en queue du chariot, assurent son guidage.

Dans le premier cas, la charge par essieu peut paraître élevée. Elle le semblera moins si on remarque que les fusées ont un diamètre double de celui usité dans les chemins de fer, et si on réfléchit que la vitesse n'est que de 1 mètre par seconde. Puis, on voit, par le second exemple, combien il reste de place disponible si on voulait augmenter le nombre des essieux. Dans ce second exemple, on peut estimer qu'il serait préférable de ne pas demander à la crémaillère tant de services divers et, pour avoir une meilleure répartition de la charge sur le sol, de ne pas porter celle-ci presque en entier sur deux seuls rails. Il serait très facile d'en ajouter deux autres et de leur demander de supporter une partie du poids et d'assurer le guidage.

Ces deux exemples suffisent à montrer que l'on peut arriver

à reporter la charge totale sur des roues dans des conditions qui permettent d'envisager des surcharges accidentelles, de l'ordre de celles contre lesquelles il est possible de se prémunir.

Le jeu possible des ressorts a toutefois des inconvénients très sérieux, au point de vue de l'emploi d'une crémaillère. On y peut remédier, comme cela a été proposé dans divers projets, en prenant des crémaillères à dents verticales disposées sur les côtés.

Le projet premier primé apporte une solution plus ingénieuse. Il comporte l'emploi de deux moteurs, indépendants l'un de l'autre. Chacun d'eux, avec ses organes de réduction de vitesse, et son pignon à axe horizontal qui engrène avec la crémaillère, est porté sur un petit chariot, complètement distinct de celui du sas, dans lequel il est simplement enclavé, et auquel il est relié élastiquement. Il pousse ou retient le grand chariot par pression des cadres qui le limitent et porte, partie sur les saillies de la crémaillère par des roues qui lui sont propres, partie sur la crémaillère elle-même par un pignon, mais toujours avec un poids constant, quelle que soit la charge du sas.

Il a été, à plusieurs reprises, dans des conditions antérieures, proposé, au lieu de faire rouler le sas sur des roues ou des rouleaux, de le faire glisser sur des patins hydrauliques. Les difficultés ou les inconvénients du système sont connus : il n'y a pas à y insister devant la rareté des propositions faites en vue de l'emploi de ces appareils.

Pour être complet, signalons le procédé qui consisterait à solutionner la difficulté provenant du poids du sas, en supprimant simplement la presque totalité de ce poids, au moyen d'électro-aimants, disposés sur ses grands côtés, et restant pendant la marche à une distance infime, et, cependant, d'une constance nécessairement rigoureuse, de deux armatures portées par des consoles le long de la voie. On ne peut contester la possibilité de réaliser avec des armatures assez massives et des distances assez faibles une force portante de la grandeur dont il s'agit en l'espèce : il est bien difficile d'être aussi affirmatif sur la possibilité de conserver invariable cette très faible distance, ailleurs qu'au laboratoire.

Un point très essentiel n'a pas attiré autant qu'il eût été désirable, l'attention de la plupart des auteurs de projets, c'est l'étude des moyens pouvant permettre d'atténuer, dans une mesure suffisante, l'effet des variations de vitesse, soit sur l'eau contenue dans le sas, soit, et surtout, sur le bateau flottant.

Beaucoup se sont contentés de faire remarquer que la dou-

ceur des démarrages obtenus sous l'action de moteurs électriques, apporte un important élément de sécurité ; il a même été proposé de régler de façon rigoureuse l'accélération en faisant dépendre automatiquement les positions successives de la manette de manœuvre sur les touches d'un rhéostat des positions successives du chariot sur le plan. Cela est possible, et il n'est pas douteux que, faite automatiquement, ou confiée simplement au conducteur la manœuvre peut-être très douce, mais cela, cependant, ne saurait être considéré comme suffisant, ne fût-ce qu'à cause de l'éventualité d'un arrêt brusque en cas d'accident.

Dans deux projets, cependant, il y a à signaler une étude plus attentive de cette question.

Dans l'un, il est proposé de disposer sur chacun des longs côtés du sas vers le niveau du plan d'eau, cinq cylindres, dans lesquels des pistons, actionnés par de l'air comprimé, peuvent avoir une course de 1 mètre. Les tiges pénétrant dans le sas viennent par leur tête s'appuyer contre les flancs du bateau : elles peuvent être reliées les unes aux autres par des traverses articulées au joint ; le tout peut être garni de matelas élastiques. La surface de portée peut être assez grande pour qu'une pression totale suffisamment énergique ne corresponde par unité de surface qu'à un effort incapable de compromettre la solidité du bateau. Le mode de construction est tel que les tiges de piston n'ayant pas à traverser de presses-étoupes, sont dans le cas de subir sans dommage les efforts normaux à leur direction que peut provoquer l'action de l'inertie sur la masse du bateau, et même le léger déplacement qui peut en être la conséquence, et qu'il est facile de limiter à une très faible amplitude. Le nombre des presses est assez faible pour ne pas introduire en exploitation une complication inadmissible.

Dans le second des projets signalés, se trouve une proposition très intéressante, consistant à disposer sur le fond du sas des pneus d'assez grand diamètre et à échouer légèrement le bateau dessus. Il ne s'agit pas, en l'espèce, de transport à sec, et il est certain que l'échouage partiel a été proposé déjà, mais non que nous sachions dans des conditions aussi acceptables. D'après les calculs des auteurs, il suffirait, pour empêcher tout mouvement du bateau, même en cas d'arrêt brusque, alors que le sas marcherait à une vitesse de 1 mètre, de le faire reposer d'environ $\frac{1}{5}$ de son poids, ce qui, pour un bateau chargé au tirant d'eau de 1 m. 80, amènerait à le dénoyer sur une hauteur de seulement 0 m. 36. Dans ces conditions, il apparaît que les flancs restent suffisamment soutenus et que les parties de fond posées sur un

matelas d'air élastique ne fatiguent pas d'une façon inadmissible par rapport aux parties voisines, qui restent soumises à une suffisante pression d'eau. Il serait sans doute préférable de disposer les pneus en travers, et non en long, ce qui aurait, entre autres, l'avantage de soustraire à un mouvement d'ensemble la couche d'eau de hauteur correspondante, et, au lieu d'une tôle, de les couvrir d'une enveloppe plus souple, facile à attacher au fond du sas. Il est aisé de se rendre compte qu'un pneu placé dans ces conditions fatiguera beaucoup moins que ceux qui font cependant de très longs services sur les roues des voitures automobiles. Le degré d'échouage doit être facile à régler par la simple lecture d'un manomètre. Le bateau ne serait-il amené que légèrement au contact qu'il y aurait de ce fait une précaution utile contre l'éventualité qu'il vienne talonner trop brutalement sur le fond en cas de déplacement brusque de l'eau.

Il y a là des moyens qui, combinés avec l'attache du bateau qui ne doit, bien entendu, en aucun cas être négligée, avec, au besoin, des cloisons mobiles comme celles proposées jadis par Peslin, paraissent devoir donner une suffisante sécurité, telle que, même en cas d'arrêt brusque, s'il peut y avoir projection d'eau, le bateau lui-même ne risque pas d'être compromis.

Il n'y a pas à insister ici, pas plus qu'on ne l'a fait à propos des projets appartenant à d'autres catégories, sur les fermetures et manœuvres des portes des sas et des biefs ; le problème est le même dans tous les cas, et on le sait résolu de façon satisfaisante dans des installations existantes. Mais il y a lieu de noter que le maintien ferme du sas contre l'extrémité du bief supérieur est plus facile dans le cas d'un plan incliné que dans le cas de tout autre système comportant l'usage d'un sas mobile.

On le voit, l'évolution qui s'est marquée progressivement dans les idées au sujet de l'organisation des plans inclinés s'est de plus en plus accentuée pour aboutir au chariot-sas automoteur, actionné électriquement, porté tout simplement sur des roues, comme les véhicules ordinaires, débarrassé des longs organes de traction d'une sécurité douteuse et des préoccupations d'un équilibrage méticuleux qui compliquait les installations primitivement prévues. Ceci, il est vrai, ne s'applique qu'à des plans de très faible pente — mais serait-il exagéré de conclure que, en l'état actuel tout au moins, en tant que faire un plan incliné, il faut le faire sur une déclivité très faible ? Il y a apparence qu'on le pourrait toujours, et certitude que même ainsi il est possible de racheter de très grandes chutes.

VI.

Tous ces appareils, à quelque catégorie qu'ils appartiennent, exigent une certaine dépense de force motrice, mais elle n'est réellement importante que dans le cas des plans inclinés établis suivant la conception qui vient d'être exposée. Il faut, en ce cas, prévoir une usine capable de fournir 1,200 à 1,500 chevaux, non qu'elle ait à les produire d'une façon constante, mais à cause des exigences auxquelles il peut y avoir à faire face momentanément du fait de l'indépendance des chariots et accidentellement en cas de fonctionnement avec un seul sas.

Il n'y avait pas à insister sur les conditions de production de l'énergie nécessaire ; cela est du domaine de la mécanique courante. Nous en dirons autant des dispositifs étudiés pour la distribution du courant, qui ne soulève aucun problème que les électriciens ne soient en état de résoudre.

Une remarque cependant s'impose. On a vu que dans les projets d'écluses, poussant au maximum l'utilisation des bassins d'épargne, la dépense d'eau pour une écluse complète est jugée pouvoir être réduite à 5,000 mètres cubes. Descendant une hauteur verticale de 36 mètres, ils correspondent à un travail théorique de 180,000,000 de kilogrammètres.

Pour être élevé à la même hauteur un sas pesant avec son chariot 2,200 tonnes demande théoriquement une dépense de 80,000,000 de kilogrammètres, de sorte que même en tenant compte des rendements de tous les appareils à faire intervenir, l'eau à dépenser pour une écluse serait susceptible de fournir plus que le travail nécessaire à la manœuvre du plan sans même avoir égard à la possibilité, il faudrait dire à la nécessité, de faire de la récupération électrique.

Y a-t-il donc assez d'eau dans un canal pour admettre la dépense nécessaire au fonctionnement des écluses ? En ce cas, si on a recours aux plans inclinés, l'usine génératrice peut être alimentée par cette même eau.

Ne peut-on admettre aucune dépense d'eau et veut-on marcher avec des écluses ? Si le moyen, dans les conditions actuelles, le plus sûr est, en ce cas, de relever avec des pompes l'eau de chaque écluse, il faudra installer une usine plus puissante que celle qui suffirait à faire marcher un plan incliné.

En fait, la plupart des concurrents ont simplement prévu des installations centrales avec machines à vapeur. L'un d'eux, cependant, remarquant qu'au moins pendant une partie de l'an-

née, tout canal doit avoir normalement une alimentation supérieure aux pertes par infiltration ou évaporation, a proposé d'utiliser à ces moments-là l'eau des biefs supérieurs, et en temps de disette, d'avoir une installation de moteurs à gaz et a étudié l'organisation de l'ensemble.

Y a-t-il lieu de faire les frais de cette double installation ? Cela devient une question à résoudre selon les conditions locales.

Puis il faut considérer comme une chose non seulement possible, mais très probable, que, dans l'avenir, les grands canaux neufs s'installeront, avec, le long de la voie, une distribution de force pour pourvoir aux besoins de la traction des bateaux, et alors disparaîtra la nécessité d'organiser une usine au pied de chaque gradin. Les franchira-t-on avec un plan incliné ? Les sas montants prendront sur le circuit général le courant dont ils auront besoin : les sas avalants y reverseront celui produit par leur freinage.

Sur des canaux ainsi armés, la régularité de la traction se trouvera assurée dans des conditions toutes nouvelles et, de ce chef, sans qu'il soit besoin d'un grand accroissement de la vitesse de marche, la vitesse de transport dépassera notablement ce qu'on peut atteindre aujourd'hui. Les temps perdus en route n'en auront que plus d'importance, et cela augmentera encore l'avantage qu'il y aurait à ce que les bateaux rencontrent en route le moindre nombre d'obstacles, et si possible, franchissent ceux-ci en une seule opération. C'est à quoi, comme chacun le savait déjà, les plans inclinés se prêtent infiniment mieux que tous autres appareils ne différant entre eux, pour des hauteurs de chute très diverses, que par la longueur plus ou moins grande de la voie, répondant tout particulièrement, par conséquent, à la condition de généralité visée par le programme.

Cette plus grande rapidité assurée à la circulation n'a cependant pas d'influence sur le débit possible d'un canal. Celui qui était imposé par le programme du concours est élevé : trente bateaux par vingt-quatre heures dans chaque sens. Tous les projets prétendent le réaliser et il semble bien, qu'en principe au moins, si tout marche en conformité d'un programme parfois serré, tous ou presque tous le puissent. En tous cas, les plans inclinés ne sont pas, sous ce rapport, en état d'infériorité vis-à-vis des écluses : encore moins *a fortiori*, les ascenseurs qui permettent une vitesse de levée bien plus grande. La plupart des auteurs de projets de plans inclinés ont admis une vitesse moyenne de translation de 1 mètre, qui semble parfaitement acceptable et qui pourrait être facilement dépassée, si les pré-

cautions prises pour assurer la tenue du bateau et de l'eau dans les sas ont une efficacité suffisante. A s'en tenir à un mètre, cela correspond à une durée de parcours pour un plan de 800 mètres de 13 1/2 minutes : il reste pour les manœuvres, ouverture et fermeture des portes, entrée et sortie du bateau, réglage du niveau de l'eau, trente-quatre minutes. C'est large, même en passant d'un bateau de 38 mètres de long à un de 67 mètres, par rapport aux temps indiqués pour les ascenseurs de La Louvière ou des Fontinettes.

Dans une écluse de 18 mètres, avec les multiples bassins d'épargne prévus, il semble difficile que le remplissage ou la vidange du sas demande moins de dix minutes, soit vingt minutes pour un bateau montant et un descendant. Il en reste vingt-huit pour les manœuvres plus simples, il est vrai, plus faciles surtout, que dans le sas étroit d'un appareil mécanique, seulement, ce n'est plus sur un bateau, mais bien sur deux que portent toutes ces manœuvres. On y parviendrait apparemment avec l'écluse de 18 mètres, cela devient problématique pour l'écluse de 36 mètres.

En ce qui concerne, enfin, le coût de ces installations, les devis fournis avec les projets de plans inclinés à faible pente sans équilibrage mécanique, avec double voie et deux chariots-sas, estiment la dépense, usine de force motrice comprise, à une somme voisine de cinq millions.

Celle d'un groupe de deux écluses de 18 mètres de chute avec bassins d'épargne arrive au même chiffre : pour une seule écluse de 36 mètres, elle est en général estimée à environ le double. Dans l'un et l'autre cas, il s'agit d'écluses simples.

Avec des ascenseurs verticaux, la chute étant aussi supposée divisée en deux, les frais d'installation dépasseraient ceux d'écluses avec la même division de la hauteur à franchir. Le grand tambour flottant et tournant qui a été décrit coûterait moins d'un million de plus qu'un plan incliné.

VII.

La tendance générale est d'augmenter le plus possible le port des bateaux employés à la navigation intérieure. Sur les grands fleuves, on arrive ainsi à avoir des embarcations d'un tonnage très élevé : il n'y a pas apparence cependant, qu'au moins de longtemps encore, on entreprenne d'ouvrir aux plus grandes d'entre elles l'accès des canaux en dehors de quelques cas ex-

ceptionnels. Si, donc, les conclusions à tirer de l'examen des projets envoyés au concours de Vienne, ne doivent pas s'étendre à des bateaux de toutes dimensions, du moins peuvent-elles s'appliquer dans des limites qui correspondent largement aux besoins de la navigation intérieure et, par conséquent, à la question portée à l'ordre du jour du Congrès.

Quelles peuvent être ces conclusions ?

En dépit d'une indication ingénieuse, mais bien hasardeuse, il ne semble pas que les propositions classées dans la catégorie « Divers » ouvrent la voie à une solution générale du problème.

Les ascenseurs verticaux des types déjà exécutés se peuvent sûrement adapter aux poids imposés mais, à défaut d'autres, des considérations de prix conduiraient à diviser en deux la chute considérée et, d'une façon générale, à s'en tenir à des hauteurs de l'ordre de celles qu'ils franchissent actuellement.

Or, pour de telles hauteurs, il apparaît possible de recourir à des écluses. Le domaine jusqu'ici réservé à ces appareils se trouverait ainsi considérablement étendu à condition de consentir sur leur simplicité des sacrifices d'autant plus grands qu'on voudra plus complètement économiser l'eau.

Au delà, les plans inclinés seuls répondent pleinement au programme, permettant d'aborder des chutes très diverses avec des dépenses simplement proportionnelles à la hauteur. Peuvent-ils assurer une suffisante sécurité ? Déjà le Congrès de Dusseldorf l'avait admis puisqu'il exprimait le vœu qu'il en soit fait une application : cela doit sembler maintenant encore bien plus probable, tout au moins en ce qui concerne les plans en long à pente faible.

En tous cas, l'heureuse initiative du gouvernement autrichien aura provoqué une importante contribution à l'étude d'un des plus intéressants problèmes de la navigation intérieure.

Paris, décembre 1904.

A. DE BOVET.

PERMANENT INTERNATIONAL ASSOCIATION
OF
NAVIGATION CONGRESSES

X. CONGRESS - MILAN - 1905

I. Section : Inland Navigation
3. Question

INVESTIGATION OF THE METHODS BEST SUITED
FOR
Surmounting great Differences of Level
BETWEEN THE REACHES OF CANALS

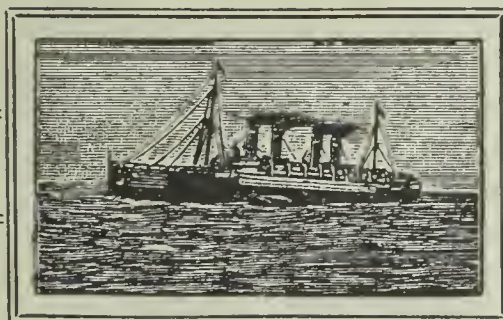
REPORT

BY

Mr. GIROLA

Engineer of the Italian Navy

NAVIGARE



NECESSE

BRUSSELS

PRINTING OFFICE OF THE PUBLIC WORKS (CO. LTD.)
18, Rue des Trois-Têtes, 18

1905

ON GREAT DIFFERENCES OF LEVEL

from the point of view of mixed traffic

REPORT

BY

Mr. GIROLA

Engineer of the Italian Navy

The means used at the present time to overcome great differences of level on canals may be classified in the following way : —

I. — *Means having as their object to equalize the level of the water.*

Locks and elevators with floats belong to this category, which may be considered as the oldest. It is known that elevators with floats can be held at different heights, according to the level of the water, which is established by putting the wells which contain them in communication with the upper or lower levels. The floats are surmounted by a frame which bears a water tight tank in which the boat floats with very little water beneath it.

These elevators may be regarded as forming a perfection of locks, for they possess the great advantage of economizing water by limiting the quantity exchanged between the levels to what is strictly necessary for manœuvring the floats; the quantity of water displaced is reduced really to what is indispensable for balancing the boat and the elevator. But, if it be remembered that locks involve, necessarily, great losses of water, which are provided against, in certain cases, by reserve basins, that heavy pressures come on their masonry and that these locks require a long time for operating, complicated with the fact that the quantity of water set in motion is not merely that which should raise the boat, sight should not be lost either of the fact that elevators with floats require : a) very deep wells,

whose construction is not favored always by the geological formation of the ground ; *b*) great thicknesses of masonry for the sides of the wells ; *c*) great attention in handling at the moment of establishing communication between the tank which holds the boat and the upper or lower level ; as it is always to be apprehended that the boat may touch suddenly either the bottom of the tank or the bottom of the canal at the moment that it passes from the canal to the tank or the reverse. An accident of this sort might prevent the boat from moving or even do it harm ; in any case, it would not be of a sort to increase the rapidity of the manœuvres.

Commercially, the two systems are practical for canals and rivers on which the traffic follows a regular course to and fro, determined by the sort of transportation carried on. This is the case, for example, with canals which connect the great coal fields and great collieries with the centres of destination of the boats. When the course of traffic is not regular, the reserve basins, although they should make up for the water expended, are not always sufficient to prevent the service from being interfered with or even interrupted through lack of water. Very extensive basins would have to be built to provide completely against irregularities of traffic.

The topographical conformation of the ground, on which the line of the canal is laid down, has a great influence on the suitability of building reserve reservoirs, the number of which may solve satisfactorily the question of water reserves but not that of economy in construction.

There is not much departure from the truth when it is said, that the adoption of the systems in question would be a mistake on canal systems with mixed traffic not working under fixed rules ; the adoption of elevators with floats, especially, might become a real danger for the boats and the regularity of the service. Nor is the choice of locks with movable bottoms, which change their position for communication with the upper or lower level, to be recommended, and for the same reason.

II. — *Means by counterweights.*

Clark's hydraulic lifts, set up in England, the North of France and Belgium, form the most important applications of this system, the working of which is thoroughly satisfactory under the following conditions : —

1. The boat must be afloat in the tank intended to hold it ;
2. The difference of level not exceeding 20 metres ;
3. Displacement of the boat not exceeding 400 tons.

Beyond these figures, the diameters of the pistons and the walls of the hydraulic cylinders increase very rapidly ; the tightness against leaks leaves much to be desired, the vertical position of the apparatus can scarcely be guaranteed and the foundations become very expensive.

But steadiness of service cannot be counted on except where the ascent and descent are subjected to a regular system arising from the special conditions of the traffic. Hence this system could only be developed in regions where the river traffic is especially limited to freight carried toward a small number of centres and is subject to fixed rules, as is the case in the coal regions.

The reduction of this system to a mere system of elevation, driven by the effect of the difference of level between the lower and upper sections, leads to adopting an excessive number of elevators, which it is hard to direct, or to resorting to pistons of scarcely practicable diameters.

Generally, when only the raising of the boats is to be provided for, there must be at hand a set of accumulators which admit of a rapid service ; but it is not possible always to accomplish the lift with the pressure of the accumulator alone, then recourse must be had to compensating systems of pumps which, in view of their cost, can only be considered when power is cheap. The question is simplified if only empty boats have to be raised, but this is surely not the general case.

The use of solid counterweights, examples of which are found in France and England, offer the same difficulties as that of hydraulic lifts, so far as a mixed service is concerned, but perhaps to a less degree, because, without great cost and without difficulty, the counterweight can be raised, even slowly, by means of a small electric motor, to put it in position to accomplish successive lifts in case that there be no boats to go down. Up to the present time, it has been considered enough to drive the counterweights with a gall chain, but the causes of interruption to the service can be reduced by increasing the counterweights beyond what is necessary to obtain a minimum speed of rise. Taking a difference of level of 20 metres and a total counterweight of 320 tons, divided among 4 counterweights

of 80 tons, and assuming a rate of rise of 0 m. 05 per second, there must be obtained, for the ascent empty, a minimum power of 8 000 kilogr. \times 0.05, that is 53.3 H. P. for each counterweight. The time spent in the ascent is 400 seconds, which is not too great; hence, with 4 counterweights, the time required is 1 600 seconds, nearly half an hour. Of the two systems with counterweights, the one with direct counterweights is to be preferred to the balance system, because with it greater differences of level can be overcome than the latter will allow, while leaving the possibility of regulating easily the value of the counterweight, but this counterweight must necessarily be heavier than that required by the balance system.

The counterweight system has the further advantage of avoiding appreciable losses of water, of not requiring great masses of masonry and of not involving the losses of energy caused by the hydraulic system.

In a word, the system of solid counterweights has advantages which may not be neglected, but its power is limited, and, consequently, its use is subordinated to the importance of the difference of level to be overcome and to the intensity of the traffic to be handled.

III. — *Inclined planes.*

This system offers the advantages of all the other systems and can be applied, in theory, to unlimited differences of level, while satisfying absolutely different requirements. Inclined plane lifts are always provided with cars which move on a track set on a gradient; the plant has, frequently, two tracks, one for going up the other for coming down.

There are many problems to be solved in this system, and so far, perhaps, they have not been examined from standpoints which allow the preference to be given to it in all cases in which many and varied needs have to be satisfied.

These problems are : —

1. Determination of the grade suited to economic and regular operating ;
2. Adoption of a traction system (the most interesting problem) ;
3. Choice of a system for transporting the boat, that is in or out of water, and, in the former case, the means to be used to

prevent erratic movements of the water in the tank which holds the boat ;

4. Arrangement of the boat in regard to the track ;

5. Means to prevent the oscillations of the two boats, one up, the other down, in systems operated with counterweights or balanced systems.

The determination of the grade to be adopted has its influence not alone on the cost of operating, but it reflects also on the system of transportation to be established and on the arrangement of the boat. The value of the slope to be preferred varies from $1/10$ to $1/8$; a great slope, if the boats be carried in water, increases very much the height of the sides of the tank. The adhesive weight on the rails is then equal, practically, to the real weight, and this requires a very heavy and expensive track which involves, on the other hand, economical traction. If the boat be carried out of water, assuming a total weight of 500 tons for the boat and the car, a figure of 250 tons per rail is obtained if the system be operated with a double rail. Assuming the maximum service weight of 20 tons per axle, there must be 25 axles for the case of operating a single track ; for the case of operating with a double track, there must be 13 axles per track. These conditions do not form a burdensome exploitation, if it be considered that it is a question, in the present case, of quite a heavy boat. But the difficulties of a good solution increase when it is desired to carry the boat afloat, a system which offers many advantages. In the case of a 400-ton boat, a weight of 1 000 tons is easily found for the boat, water, tank and car, which doubles the number of axles. With a maximum weight of 20 tons per axle and operating with a double track, the figure of 50 axles is found, or 25 axles per track. Hence a part of the adherent weight must be taken off by means of compensated hydraulic slides on which the frame which carries the tank rests. These slides run on rails and are in constant communication with hydraulic accumulators or with jacks which maintain within themselves the pressure intended to compensate partly the weight carried. Such is the Haniel and Lueg hydraulic slide, which can carry as much as 75,000 kilogrammes with a pressure of 50 atmospheres.

The use of this slide therefore makes it possible to reduce the number of axles to one-seventh of those required by ordinary railway traction. In order to diminish the complication

of this system, especially in what concerns water-tightness and piping, parts which are such as to compromise the regularity of the service, it would be better, perhaps, to adopt rails which are hollow inside and composed of two parts, the lower being fixed and the upper part movable. The upper part would be in contact with the slides, and the inside of the rail would be in permanent communication with the jacks or accumulators which have to keep up the compensation pressure. The system of traction with chains or cables offers serious troubles in the matter of maintenance, regularity of service and complication of transmission. The use of electric motors driving the axles, or a part of them, is to be preferred to any other system, the more so as the reduction of the number of axles, the result of compensation, facilitates the working and control of the motors. The start can be greatly facilitated by means of hydraulic jacks which are filled by the descent of the boats.

The process which consists of balancing a descending boat by another going up, is not practicable for mixed operations not regulated by fixed rules, and causes, also, dangerous surges when one of the boats reduces or increases its speed, particularly at the ends of the trip. A progressive correction of the grade at the ends of the inclined plane may reduce oscillations at the termini by establishing a fixed relation between the ascending and descending loads, but it has no action on the intermediate oscillations.

The disadvantage of oscillations is very great, especially in the case where the boat is carried afloat and in that of traction by chains or cables ; it is inseparable from the process in question. All these considerations show that, in order to give to the service the elasticity and the regularity which a mixed traffic requires, direct traction must be adopted, to the exclusion of counterweights and of the method of balanced boats. If the utilization of the motive power of the descending boat be made an element of the case, hydraulic accumulators can be used, rising by the descent of the boat through the action of compression hydraulic tackles, the object being to reduce the stroke while increasing the pressure. In this way the use of cables or chains can be limited to the descending boat alone, with a diminution of danger of breaks, due to oscillations, and a reduction of the cost of maintenance.

The traction of the ascending boat can be had by means of hydraulic jacks driving the car through the medium of a tackle. Slides, which combine the functions of compensated supporting

parts and hydraulic automotor parts, can be adopted in order to do away with chains and cables ; but this introduces a little complication in the matter of pipes. This last difficulty can be guarded against by using several quite long slides, connected in pairs, each pair having a right and left slide ; the run of a pair of slides corresponds to quite a long section of the track. After the run of the first pair is finished the run of the second pair begins, afterwards, that of the third and so on to the end of the ascending track. This system has a limit, of course ; but the solution is facilitated by the adoption of the mode of transportation of the boat crossways to the track. As has been observed already, the choice of electric motors driving the axles simplifies the solution of the problem but complicates somewhat the question of the track, because there should be laid, in this case, a double system of rails, that is to say, a compensating slide can serve for quite a large number of driving wheels. On the other hand, the motive power of the descending boat can be utilized to bring into service hydraulic compressors, which set in motion the small turbines that drive electric generators, or raise hydraulic accumulators with a view to compensation. But it must not be forgotten that, in a mixed traffic service, there should always be at hand a group of independent machines to provide for any difference between the ascent and descent.

Before going to the examination of other questions, it may be noted that the system of hydraulic rails allows the slides to be used as brakes by reducing the interior pressure of the rails ; an auxiliary system of Westinghouse brakes might also be added.

The best system for carrying boats is, without doubt, to have them water borne, because this system lets the manœuvres be made more simply and quickly and insures better the keeping of the boats and plant in good order. On the other hand, by reducing the draft of water at the start, it is easy to keep down to a minimum the weight of water to be carried.

The best arrangement of the boat in regard to the track is, beyond any doubt, the transverse one, which reduces the length of the track, allows a number of rails to be laid and diminishes to a marked degree the commotion of the water. This question is more important than is generally believed. The disorderly movement of the water may interfere seriously with the operations and may cause breaks among chains, cables and even compressors. If the transverse position be not exempt from this trouble, the latter is certainly much less serious. But the sub-

division of the tank into transverse compartments, the arrangement of a metallic surface provided with holes at the level of the water, the adoption of siphons to place the compartments in communication, spreading a thin skim of oil over the surface of the water are precautions of a sort to reduce it greatly. Finally, the choice of direct traction, by suppressing all oscillation of the cars, reduces still further the commotion of the water.

It may be concluded, from all that precedes, that, for a mixed service such as that which must be handled in regions where there are no special and preponderating industries, the two systems which appear best suited to overcome great differences of level are the following : —

1. The solid-counterweight system provided with a small electric plant for raising the counterweight whenever this operation cannot be performed by the descending boat ;

2. Direct action inclined planes, that is without the intervention of a descending boat, the ascent being accomplished by means of electric motors, compensating slides and transverse position of the boat.

London, January 7, 1905.

M. GIROLA.

627.06
I N R
1905

ASSOCIATION INTERNATIONALE PERMANENTE

DES

CONGRÈS DE NAVIGATION

X^e CONGRÈS - MILAN - 1905

I. Section : Navigation Intérieure

3. Question

ÉTUDE

DES

Systemes propres à racheter les grandes chutes

ENTRE LES BIEFS DES CANAUX

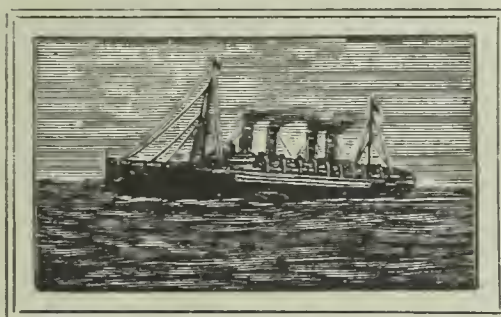
RAPPORT

PAR

M. GIROLA

Ingénieur de la Marine Italienne

NAVIGARE



NECESSE

BRUXELLES

IMPRIMERIE DES TRAVAUX PUBLICS (SOCIÉTÉ ANONYME)

18, Rue des Trois-Têtes, 18

1905

Des grandes différences de niveau AU POINT DE VUE D'UN TRAFIC MIXTE

RAPPORT

PAR

M. GIROLA

Ingénieur de la Marine italienne

On peut classer de la manière suivante les moyens qui sont employés aujourd'hui à racheter les grandes différences de niveau sur les canaux :

I. — *Moyens ayant pour but l'égalisation du niveau de l'eau.*

A cette catégorie, pouvant être considérée comme la plus ancienne, appartiennent les écluses à sas et les éleveurs à flotteurs. On sait que les éleveurs à flotteurs peuvent se maintenir à des hauteurs différentes, suivant le niveau de l'eau qui est établi en mettant en communication les puits qui les contiennent avec les biefs supérieur ou inférieur. Les flotteurs sont surmontés d'un bâti portant un caisson étanche dans lequel flotte le bateau avec très peu d'eau sous la quille.

On peut considérer ces éleveurs comme constituant un perfectionnement des écluses, car ils ont le grand avantage d'économiser l'eau en limitant la quantité échangée entre les deux biefs à celle strictement nécessaire pour la manœuvre des flotteurs ; la quantité d'eau déplacée est en fait réduite à celle indispensable pour faire équilibre au bateau et à l'éleveur. Mais si l'on considère que les écluses à sas entraînent nécessairement des pertes d'eau importantes auxquelles on pare, dans certains cas, au moyen de bassins de réserve, que leurs maçonneries doivent supporter de fortes pressions et que ces écluses exigent une longue durée de manœuvre compliquée par le fait que la quantité d'eau mise en mouvement n'est pas seulement celle qui doit déterminer la force ascensionnelle du bateau, l'on ne doit pas perdre de vue, non plus, que les éleveurs à flotteurs exigent : *a)* des puits très profonds, dont la construction n'est pas toujours favorisée par la constitution géologique du terrain ; *b)* de fortes épaisseurs pour les parois des puits ; *c)* une grande attention pour la manœuvre au moment de l'ouverture de la communication entre le caisson qui

contient le bateau et le bief supérieur ou inférieur; on doit toujours craindre, en effet, que le bateau ne touche brusquement le fond du caisson ou le fond du canal à l'instant où il passe du canal dans le caisson ou réciproquement. Un accident de ce genre pourrait immobiliser le bateau et même lui causer des avaries; en tous cas, il ne serait pas de nature à augmenter la rapidité de la manœuvre.

Au point de vue commercial, les deux systèmes sont pratiques pour les canaux et les fleuves sur lesquels le trafic suit un régime régulier d'aller et retour imposé par la nature des transports effectués; c'est le cas, par exemple, pour les canaux qui relient les grands gisements de charbon et les grandes houillères aux centres de destination des bateaux. Lorsque le trafic ne suit pas un régime régulier, les bassins de réserve, quoiqu'ils doivent compenser la dépense d'eau, ne suffisent pas toujours à empêcher le trouble ou l'interruption du service par manque d'eau. Il faudrait construire des bassins très étendus pour parer complètement aux irrégularités du trafic.

La conformation topographique du terrain sur lequel se développe le tracé d'un canal influe fortement sur la convenance de la construction des bassins de réserve, dont le nombre peut parvenir à résoudre d'une façon satisfaisante la question des réserves d'eau mais non pas celle de l'économie dans la construction.

On ne s'écarte pas beaucoup de la vérité en affirmant que l'adoption des systèmes dont il s'agit serait une erreur sur les réseaux de canaux à trafic mixte non assujéti à des règles fixes; l'adoption des élévateurs à flotteurs, en particulier, constituerait un vrai danger pour les bateaux et pour la régularité du service. N'est pas à conseiller non plus, pour la même raison, le choix des écluses à fond mobile se déplaçant pour la communication avec les biefs supérieur ou inférieur.

II. — *Moyens à contrepoids.*

Les élévateurs hydrauliques de Clark, établis en Angleterre, dans le nord de la France et dans la Belgique, constituent les plus importantes applications de ce système, dont le fonctionnement, dans les conditions suivantes, donne toute satisfaction :

- 1° Flottaison du bateau dans le caisson destiné à le contenir;
- 2° Différence de niveau ne dépassant pas 20 mètres;
- 3° Déplacement du bateau ne dépassant pas 400 tonnes.

Au-dessus de ces chiffres, les diamètres des pistons et des parois du cylindre hydraulique augmentent dans de fortes proportions, l'herméticité laisse beaucoup à désirer, la verticalité n'est pas assurée et les fondations de l'ouvrage deviennent très coûteuses.

Mais, au point de vue du service, l'on ne peut pas compter sur la

continuité dans les cas où la montée et la descente ne sont pas soumises à un régime fixe dû aux conditions particulières du trafic. Ce système n'a donc pu se développer que dans les régions où le trafic fluvial est particulièrement limité à des marchandises transportées vers un petit nombre de centres et est assujéti à des règles fixes. C'est le cas des régions houillères.

La réduction de ce système à un simple système d'élévation, mû par l'effet de la différence de niveau entre le bief supérieur et le bief inférieur, conduit à adopter un nombre excessif d'élévateurs, dont la commande devient difficile, ou à recourir à des pistons de diamètres peu pratiques.

En général, lorsqu'on veut pourvoir à la seule montée des bateaux, il faut disposer d'une installation d'accumulateurs qui permette un service rapide; mais il n'est pas toujours possible d'accomplir la montée avec la seule pression de l'accumulateur, et alors il faut recourir à des systèmes compensateurs de pompes qui ne sont admissibles, au point de vue de la dépense, que lorsque l'énergie est à bon marché. La question se trouve simplifiée si la montée n'est constituée que par des bateaux vides, mais ce n'est certainement pas le cas général.

L'emploi de contrepoids solides, dont on a des exemples en France et en Angleterre, présente les mêmes difficultés que celui des élévateurs hydrauliques, au point de vue d'un service mixte, mais peut-être dans une mesure plus faible, car on peut, sans grande dépense et sans difficulté, relever le contrepoids, même lentement, au moyen d'un petit moteur électrique, pour le mettre à même d'accomplir des soulèvements successifs dans le cas où il ne se présente pas de bateaux à la descente. Jusqu'à présent, on s'est contenté d'effectuer la commande des contrepoids par une transmission à chaîne gall, mais on peut réduire les causes d'interruption du service en multipliant les contrepoids au-dessus de ce qui est nécessaire pour obtenir une vitesse minimum de montée. En supposant une différence de niveau de 20 mètres et une somme de contrepoids de 320 tonnes, subdivisée en 4 contrepoids de 80 tonnes, et en admettant une vitesse de soulèvement de 0 m. 05 par seconde, il faut réaliser une puissance minima, pour la montée à vide, de 8,000 kilogr. \times 0.05, c'est-à-dire de HP 53.3 pour chaque contrepoids. Le temps employé pour la montée est de 400 secondes, ce qui n'est pas exagéré; avec 4 contrepoids, le temps exigé est donc de 1,600 secondes, une demi-heure à peu près. Des deux systèmes à contrepoids, le système à contrepoids direct est préférable au système à balance, car il permet un rachat de différences de niveau plus fortes que ne le permet ce dernier, tout en laissant la possibilité de régler aisément la valeur du contrepoids,

mais ce contrepoids doit être nécessairement plus lourd que celui exigé par le système à balance.

Le système à contrepoids a aussi l'avantage d'éviter des pertes d'eau appréciables, de ne pas exiger des travaux de maçonnerie importants et de ne pas comporter les pertes d'énergie qui se produisent avec le système hydraulique.

En résumé, le système à contrepoids solides a des avantages qui ne sont pas négligeables, mais sa puissance est limitée, et, par suite, son emploi est subordonné à l'importance de la différence de niveau à racheter et aussi à l'intensité du trafic à desservir.

III. — *Plans inclinés.*

Ce système présente les avantages de tous les autres systèmes et peut, en théorie, s'appliquer à des différences de niveau illimitées, tout en satisfaisant à des exigences absolument différentes. Les ascenseurs à plans inclinés sont toujours pourvus de chariots se déplaçant sur une voie ferrée établie en pente; fréquemment, l'installation comporte deux voies, l'une pour la descente et l'autre pour la montée.

Les problèmes à résoudre dans ce système sont nombreux, et peut-être, jusqu'ici, n'ont-ils pas été examinés à des points de vue permettant de lui donner la préférence dans tous les cas où on a à satisfaire à des besoins nombreux et variés.

Ces problèmes sont les suivants :

1° Détermination de l'inclinaison convenable pour une exploitation économique et régulière ;

2° Adoption d'un système de traction (problème le plus intéressant);

3° Choix d'un système de transport du bateau, c'est-à-dire à flot ou à sec, et, dans le premier cas, des moyens à employer pour empêcher les mouvements désordonnés de l'eau dans le caisson contenant le bateau ;

4° Disposition du bateau par rapport à la voie ;

5° Moyens d'empêcher les oscillations des deux bateaux, l'un montant, l'autre descendant, dans les systèmes exploités avec contrepoids ou systèmes équilibrés.

La détermination de la pente à adopter n'influe pas seulement sur la dépense d'exploitation, mais elle a aussi sa répercussion sur le système de transport à établir et sur la disposition du bateau. La valeur de l'inclinaison préférable varie de $1/8$ à $1/10$; une pente exagérée dans le cas du transport des bateaux à flot augmente notablement la hauteur des parois du caisson. Le poids adhérent aux rails est alors pratiquement égal au poids réel, ce qui exige

une voie très lourde et coûteuse mais comporte, par contre, une traction économique. Dans le transport à sec, en admettant un poids total de 500 tonnes pour le bateau et le chariot, on atteint le chiffre de 250 tonnes par rail si l'exploitation est faite à double rail. En admettant le poids maximum en service de 20 tonnes par essieu, il faudra disposer de 25 essieux pour le cas d'une exploitation à simple voie; pour le cas d'une exploitation à double voie, il faudra disposer de 13 essieux par voie. Ces conditions ne constituent pas une exploitation onéreuse si l'on considère qu'il s'agit, dans le cas présent, d'un bateau assez lourd. Mais les difficultés d'une bonne solution augmentent lorsqu'on veut transporter le bateau à flot, système qui présente, d'ailleurs, beaucoup d'avantages. Dans le cas d'un bateau de 400 tonnes, on arrive facilement à un poids total de 1,000 tonnes pour le bateau, l'eau, le caisson et le chariot, ce qui double le nombre des essieux; avec un poids maximum de 20 tonnes par essieu et une exploitation à double voie, l'on atteint le chiffre de 50 essieux, c'est-à-dire de 25 essieux par voie. Il faut donc annihiler une partie du poids adhérent au moyen de patins hydrauliques compensés, sur lesquels s'appuie le bâti portant le caisson; ces patins glissent sur des rails et sont en communication constante avec des accumulateurs hydrauliques ou avec des pompes qui maintiennent en eux la pression destinée à compenser en partie le poids supporté. Tel est le patin hydraulique Haniel et Lueg, qui peut supporter jusqu'à 75,000 kilogrammes avec une pression de 50 atmosphères.

L'emploi de ce patin donne donc la possibilité de réduire le nombre des essieux à la septième partie de ce qu'exige la traction ordinaire par chemin de fer. Pour diminuer la complication de ce système, particulièrement en ce qui concerne l'herméticité et le tuyautage, parties qui sont de nature à compromettre la régularité du service, il serait peut-être préférable d'adopter des rails vides à l'intérieur et composés de deux parties, l'inférieure étant fixe et la supérieure mobile. La partie supérieure serait en contact avec les patins, et l'intérieur du rail serait en communication permanente avec les pompes ou les accumulateurs chargés d'y maintenir la pression de compensation. Le système de traction à chaînes ou à câbles présente des inconvénients sérieux au point de vue de l'entretien, de la régularité du service et de la complication de la transmission. L'emploi de moteurs électriques actionnant les essieux ou une partie des essieux est préférable à l'emploi de tout autre système, d'autant plus que la réduction du nombre des essieux par suite de la compensation facilite la manœuvre et la commande des moteurs. Le démarrage peut être notablement facilité à l'aide de presses hydrauliques se chargeant à la descente des bateaux.

Le procédé consistant à équilibrer un bateau descendant par un autre montant, quoique économique, n'est pas pratique pour une exploitation mixte non soumise à des règles fixes, et produit d'ailleurs des oscillations dangereuses lorsque l'un des bateaux ralentit ou accélère sa marche, particulièrement aux limites du trajet. Une correction progressive de la pente aux extrémités du plan incliné peut bien affaiblir les oscillations terminus en établissant un rapport fixe entre les deux charges montante et descendante, mais n'a aucune action sur les oscillations intermédiaires.

L'inconvénient des oscillations est très grand, particulièrement dans le cas du transport à flot et dans celui de la traction par chaînes ou câbles, qui est inséparable du procédé dont il s'agit. Toutes ces considérations montrent que, pour donner au service l'élasticité et la régularité qu'exige un trafic mixte, il faut adopter la traction directe, à l'exclusion des contrepoids et du procédé à bateaux équilibrés. Si l'on tient à utiliser le pouvoir moteur du bateau descendant, on peut recourir à des accumulateurs hydrauliques se chargeant à la descente par l'action de palans hydrauliques de compression ayant pour but de réduire la course tout en augmentant la pression. On peut ainsi réduire l'emploi des câbles ou des chaînes au seul bateau descendant, et diminuer le danger de ruptures du fait des oscillations tout en modérant les frais d'entretien.

La traction du bateau montant peut être faite au moyen de presses hydrauliques commandant le chariot par l'intermédiaire d'un palan ; pour éliminer les chaînes et les câbles, on peut adopter, mais avec quelques complications au point de vue du tuyautage, des patins, cumulant les fonctions d'organes compensés d'appui et celles d'organes automoteurs hydrauliques. On peut parer à la difficulté de tuyautage en adoptant plusieurs patins assez longs, reliés en couples, chaque couple étant composé d'un patin droit et d'un patin gauche ; la course d'un couple de patins correspond à une partie assez longue de la voie à parcourir ; après la course d'un premier couple commence la course d'un second, après, celle d'un troisième et ainsi de suite jusqu'au bout de la voie ascendante. Ce système a, bien entendu, une limite ; mais la solution est facilitée par l'adoption du mode de transport du bateau transversalement à la voie à parcourir. Comme nous l'avons déjà fait observer, le choix de moteurs électriques actionnant les essieux simplifie la solution du problème mais complique légèrement la question de la voie, parce qu'on doit, dans ce cas, établir un double système de rails, c'est-à-dire un rail compensateur et, à côté de celui-ci, un rail pour les roues motrices ; mais un seul patin compensateur peut servir pour un nombre assez grand de roues motrices. On peut, d'autre part, utiliser le pouvoir moteur du bateau descendant pour actionner des compresseurs hydrauliques, qui font fonctionner de

petites turbines commandant des générateurs électriques, ou chargent des accumulateurs hydrauliques en vue de la compensation. Mais il ne faut pas oublier que, pour un service à trafic mixte, l'on doit toujours disposer d'un groupe de machines indépendantes pour parer à toute différence entre la descente et la montée.

Avant de passer à l'examen des autres questions, faisons remarquer que le système des rails hydrauliques permet de faire agir les patins comme freins en réduisant la pression intérieure des rails; un système auxiliaire de freins Westinghouse peut d'ailleurs être installé.

Le meilleur système de transports des bateaux est, sans doute, le système à flot, car ce dernier permet de simplifier et d'accélérer les manœuvres et assure mieux le maintien en bon état du matériel et des bateaux; d'autre part, en réduisant le tirant d'eau au départ, il est facile de limiter au minimum le poids d'eau à transporter.

La meilleure disposition du bateau par rapport à la voie est, sans nul doute, la disposition transversale, qui réduit la longueur de la voie, permet une installation à rails multiples et diminue notablement l'agitation de l'eau. Cette question est plus importante qu'on ne le croit. Les mouvements désordonnés de l'eau peuvent troubler gravement la manœuvre et peuvent être, pour les câbles et les chaînes de traction ainsi que pour les compresseurs, des causes de rupture. Si la disposition transversale n'est pas exempte de cet inconvénient, elle le présente cependant dans une mesure beaucoup moindre; mais la subdivision du caisson en compartiments transversaux, la disposition d'une surface métallique pourvue de trous au niveau de l'eau, l'adoption de siphons mettant les compartiments en communication, le répandage d'une légère couche d'huile sur la surface de l'eau constituent des précautions de nature à l'atténuer grandement; enfin, le choix de la traction directe, en supprimant toute oscillation des chariots, diminue encore l'agitation de l'eau.

De tout ce qui précède, on peut conclure que, pour un service mixte tel que celui qui doit être desservi dans les régions où n'existent pas d'industries particulières et prépondérantes, les deux systèmes qui paraissent les plus convenables pour racheter les grandes différences de niveau sont les suivants :

1° Le système à contrepoids solides pourvu d'une petite installation électrique destinée à remonter le contrepoids toutes les fois que cette opération ne peut pas être accomplie par un bateau descendant ;

2° Les plans inclinés à traction directe, c'est-à-dire sans intervention d'un bateau descendant, avec montée actionnée par des moteurs électriques, patins compensateurs et disposition transversale du bateau.

PERMANENT INTERNATIONAL ASSOCIATION
OF
NAVIGATION CONGRESSES

X. CONGRESS - MILAN - 1905

I. Section : Inland Navigation
3. Question

INVESTIGATION OF THE METHODS BEST SUITED
FOR
Surmounting great Differences of Level
BETWEEN THE REACHES OF CANALS

REPORT

BY

WOUTER COOL C. J.

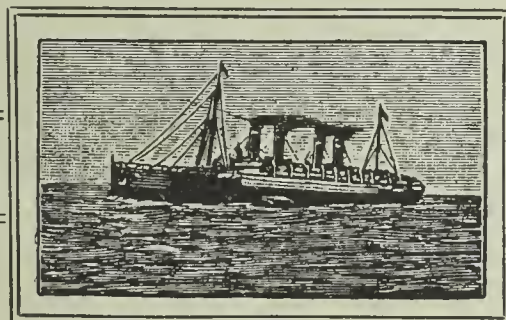
Engineer of the Communal Administration of the works at Rotterdam

AND

JONKHEER C. E. W. VAN PANHUYS C. J.

Engineer of Hydraulic Works of the State at Horn (Holland)

NAVIGARE



NECESSE

BRUSSELS

PRINTING OFFICE OF THE PUBLIC WORKS (CO. LTD.)

18, Rue des Trois-Têtes, 18

1905

1000 1 170 11 1000 1 170 11

1000 1 170 11 1000 1 170 11

1000 1 170 11 1000 1 170 11

Means for overcoming great Differences of Level

REPORT

BY

WOUTER COOL C. J.

Engineer of the Communal Administration of the works at Rotterdam

AND

JONKHEER C. E. W. VAN PANHUYS C. J.

Engineer of Hydraulic Works of the State at Horn (Holland)

Project of a lift for boats.

Introduction.

The search after means suited to overcoming the great differences of level found on the line of certain inland navigation canals, is undoubtedly one of the most difficult problems which the modern science of the engineer is called on to solve.

The studies prepared for building canals on flat ground in the great plains of Europe have contributed little toward the solution of the problem ; it is most of all the projects drawn up for the construction of important navigable highways in the hilly parts of Germany and Austria, as well as in Belgium, Italy, Russia and France, which have caused this question to make important progress. Nevertheless the sessions of the IXth Navigation Congress at Düsseldorf did nothing to cause one style of lift to have any advantage over the others. Hence it seems useful to pursue the researches undertaken so far, and it is proposed to contribute as much as possible in the present article to the solution of the question. The bases taken for this project are those of the competition organized by the Austrian Government, in view of the construction of a system of lift for boats at Prerau on the canal from the Danube to the Oder.

Hence boats 67 metres long, 8 m. 20 wide and 1 m. 80 depth of water will be considered. Besides, it will be granted that the difference of level between the two sections of the canal

is 35 m. 90 and that the maximum variation in the levels of the water surfaces of these sections is 20 centimetres above and below the normal surface.

The data of the problem for the Austrian competition were such, so far as concerns the local conditions of the ground, that any solution other than a system of inclined planes would have been incompatible with the end proposed. This competition has scarcely contributed anything to the general solution of the question of elevating apparatus for boats, and besides, it is what the jury was anxious to ratify, by giving, from the start, the preference to an elevating system by inclined planes with a longitudinal track.

It will be supposed, in what follows, that the conditions of the ground bear some relation to the system of elevator which it is proposed to adopt and the preference for this system will be set forth mainly on account of reasons of economy and of the degree of safety which can be realized.

Great differences of level are overcome by means of locks, inclined planes, revolving lifts and vertical hydraulic or pneumatic lifts, with counterpoises or floats. The ascent in each of these systems involves a single rise or a series of rises in steps, according to local conditions. The study of several systems of elevators should be made, for each given case, from the standpoint of first cost and the advantages and disadvantages inherent to each.

In the establishment of a canal of great length in the hilly countries of Austria, there could be no thought of adopting a uniform type of elevator for the entire length of the line, because the height of lift and the local conditions of the ground vary from point to point. Hence, each particular case should be examined.

Locks are resorted to for maximum lifts of 10 to 12 metres ; their system of foundation should be seriously settled. Although there are many means for saving the water of a lockage, the cost of the water expended is generally very high, even when the installations have been made under advantageous conditions. So far as security of operation is concerned, locks are sensibly superior to the other means of going up ; so that preference should be given to them when their establishment is possible.

A flight of locks is less advantageous, on account of the loss of time it causes and of the forcibly restricted traffic which

is the result ; it should often be built in a double series to remedy these disadvantages.

The adoption of inclined planes involves the building of longitudinal or transverse tracks according as the boats are moved, either afloat with a certain quantity of water, or taken out of the water and placed on a car (*wagon à sas*). The transportation afloat is advantageous because the weight to be raised is uniform and independent of that of the boat, but the weight of the car is relatively high ; furthermore, the inevitable oscillations of the level of the water at the beginning and end of the trip way injure its stability.

For dry transportation, the boats must be built for the purpose, otherwise the inclined plane would be a « death bed » on which no boatman would ever consent to let his boat be carried, unless it had been built with a view to transportation of this sort. The precautions which must be taken to put a boat into dry dock must have been seen to have an idea of the difficulties to be overcome. Disadvantages and losses of time would be inevitable, even if the boats were built with a view to being thus carried. And again this system would be inadmissible on navigable highways with heavy traffic, because operating would only be possible with special types of boats, and that fact would run directly against the advantages inherent to these routes and their preponderance over transportation by rail.

The moving of a tank capable of carrying a boat of 600 tons, requires a most solidly built railway, because the least settlement of the ground would be capable of increasing the resistance due to friction to the point of making it insurmountable.

Nor must sight be lost of the special dispositions which must allow for the expansion of the track. The tendency of the rails to slide, which is especially marked on the transverse systems of inclined planes, which are to be recommended however in other respects, must be opposed.

The motive power to be called into play must be determined with precision, on account of doubtful suppositions made in the matter of coefficients of friction, which cannot be determined accurately by laboratory experiments ; hence it is hard to state the operating expenses of an elevator of this kind.

The car must carry its motor, if a rack road be adopted, or it must be moved by traction with long chains or steel cables in the other case. If the boats be small and the plants unimportant, it will be possible to balance the forces in action either

by accumulators or by arranging for ascents and descents at the same time.

With boats of a certain size, it would not be possible to apply these combinations, because the machinery would become too complicated and there would be danger of compromising the safety of the operations.

The ascent of a car, furnished with its motor, along a rack road, would require such an amount of motive power that the operating expenses would be increased beyond reason. To meet the unknown resistances developed by friction, the power of the motor would have to be increased still further. The length of inclined planes is not limited to a given length and, hence, these plants are suitable to all lifts if the shape of the ground does not oppose their use. When conditions are such that a difference of level of 100 metres or more is to be overcome in one ascent, the solution by the inclined plane is the only one applicable.

The endeavor made by the Austrian Government in the matter of constructing an inclined plane for a relatively small height of 35 m. 90 possesses a certain scientific interest, but it is not believed that it will go any further.

The revolving lift has not yet been tried; the projects prepared for the application of this system must be received with doubt.

The existing vertical lifts are practical and successful plants. There may be mentioned the one at La Louvière (400 T., 15 m. 40 lift), the one at les Fontinettes (300 T., 13 m. 10 lift) and the one at Heinrichsburg (800 T., 14 to 16 metres lift). But this kind of construction, complicated to carry out, is scarcely compatible with greater heights, because to greater heights of hoist correspond greater depths of foundation, greater lengths of the pieces to be set in motion and because, moreover, the security of operations depends on the strength of parts which it is difficult to replace. So, for hydraulic lifts, the working of the plant depends upon that of the slender and relatively frail piece which carries the whole load.

For pneumatic lifts (Erie canal project), the moving mass is very voluminous (like a great gasometer), and experience is lacking.

The height of lifts with counterweights is not limited theoretically, but in practice the loss of head due to the friction of the gearing is important, and, more than this, the counter-

weights become rather awkward to manage for great heights and heavy loads.

For lifts with floats, Heinrichenburg system, there must be used large rods with screw ends and sundry moving parts of great length. For important heights the connections between the tank and the floats are of great size, and consequently the load to be raised is increased. Lifts with floats have an advantage because the loads can be perfectly balanced, their balance is always assured, and to set them in motion requires a theoretically insignificant effort and one independent of the height of the lift and of the size of the boats.

The advantages of lifts with floats can be realized and their disadvantages above-mentioned avoided by making use of the principle set forth in the Book of the Science of the Engineer (*Ingenieur Wissenschaften*) 3d Part, Vol. 8, 4th Edition, p. 352, which was applied in England, although only imperfectly, in the XVIIIth Century.

The authors of this paper presented a project of this sort at the time of the Austrian Competition for elevators for boats. They have set forth in the following pages the peculiarities, advantages and disadvantages of their system which is founded on the following considerations :

According to the principle of Archimedes, any body immersed in a liquid is submitted to a lifting force equal to the weight of the mass of the liquid displaced. Hence such a body will be constantly in equilibrio if its own weight be equal to that of the mass of displaced water. If the body be entirely submerged, the position which it occupies will have no influence on the equilibrium ; the body will hover in the liquid. The least force will suffice to send the body an arbitrary amount up or down. If the boat to be raised be placed in such a body, the movement of the boat up or down will require but an insignificant amount of work. If there be arranged in the floating or diving body a water tank which can be closed, and into which the boat can be made to enter, the proper weight of the whole when immersed will remain constant whether a boat be carried or not, if the water in the tank remain always at the same height. The immersed body has only to be arranged in such a way that it will be accessible to boats, and the ascent will take place without, so to speak, any expenditure of work.

The shape of a large cylinder or drum, containing a water tank closed by gates at each end, has been given to the im-

mersed body. It moves in a large closed reservoir, which can be made to communicate with either the upper or the lower level by the opening of doors.

It will be seen further on, just how far the theoretical hypothesis — of no loss of water — can be realized.

The organic rules of the Congress limit this study to what is absolutely necessary ; but the authors stand ready, nevertheless, to give additional information to any persons who may be interested.

Arrangement of the Lift.

The lift properly so called includes two main parts : the boat drum and the reservoir.

1. *The boat drum.*

Boats 67 metres \times 8 m. 20 \times 1 m. 80 and a free height of 4 m. 50 are assumed. In order to avoid any inconvenience either with regard to the oscillations of the water surface, which may vary by 20 centimetres, a drum has been taken 70 metres long, 9 metres wide, 7 m. 20 high and a draught which may vary from 2 m. 20 to 2 m. 70.

For carrying out the work, attention being paid to the motive force and the hydraulic pressure, a series of strong circular frames, square in cross-section, have been provided ; these frames are 1 metre apart and braced. The connection between the different frames is made by the outside wall 21 millimetres thick which is continuous, by 4 pieces also 21 millimetres thick and leading from the four angles of the cross section of the tank to the outside wall of the drum, and finally by the 21-millimetre sheets which form the outside of the tank which has a rectangular cross-section. This drum 70 metres long, stiffened properly by these continuous sheets, by \square and Γ irons, and by braces, is in condition to resist the eventual lateral pressures which may be caused when it is set in motion.

The ends of the drum are closed by means of sliding doors which must be opened and closed successively during the manœuvres. These doors are made of two leaves which move in opposite directions.

The lower panel of these doors is smaller than the upper ; it is so arranged that it will remain constantly under water, in order not to change the immersed volume of the body and not to make the motive work vary, as any variation may break

the equilibrium which is obtained by means of ballast (60.3 tons).

When the doors are to be opened, the lower panel goes down and the upper one up; the reverse takes place when they are closed. These movements are obtained by two windlasses and cables driven by an electro-motor.

As a measure of precaution, a spare motor of the same power (an alternating current motor of 25 horse power at 500 revolutions per minute) has been provided, both out of reach of the water. Steel cables 44 millimetres in diameter are wound on these windlasses; their limit of tensile resistance is 1500 kilogrammes per square centimetre (21 300 lbs per sq. in.), with a coefficient of safety of 10. The panels of the doors are suspended to cables and manœuvred by working the windlasses.

In order to realize the equilibrium in spite of the difference of stroke of the two panels of the door, which move in opposite directions, cogged wheels have been introduced between the two windlasses so arranged that the motor, once set going, has only the resistance of friction to overcome, seeing that when the door is to be opened, this latter is under no pressure, as will be seen further on.

Besides, the doors have rollers (see Plate II) to reduce the friction to a minimum when they are opened or closed, an operation which is done in 20 seconds. Provision has been made for easy access to parts subject to wear, so that they can be repaired or replaced easily.

The cables are double, so as to be ready for cases of rupture; they can be stretched by means of special appliances.

The gates should be water-tight; the two vertical and two horizontal joints must be water-tight under a head of 56 metres, maximum height.

Plate II shows how this tightness is obtained: linden wood is used, and the rubbing surfaces of the gate and the drum are of brass. India-rubber bands, compressed by the pressure of the water, insure the complete tightness of the whole.

The pressure of the gates on the drum is transmitted by braces to the adjoining frames.

Besides the wooden frame of the joints, the railings, man-holes in the gates and bulkheads, the plant is completed by three centrifugal pumps with motors, pipes and valves, two horizontal propellers and the same number of electric motors inside of the drum which is surmounted by a watch room. The pumps take care of the ballasting which is to assure the equi-

librium of the drums under all conditions of floatation. The entire construction including the drum, the gates and the contents (with or without boat) weighs at least 6,049 tons for a depth in the tank of 2 m. 30, 6,175 tons about for the normal depth, and 6,301 tons at the most for the maximum depth. The volume of water displaced is 14,034 cubic metres. Hence the total weight which the immersed drum has to carry is 14,034.

Therefore there has to be added as ballast : *a)* for the smallest depth 7,985 tons ; *b)* for the mean depth 7,859 tons and for the greatest depth 7,733 tons.

Under any circumstances there must be at hand a constant ballast of 7,733 tons. Dividing this ballast evenly among 54 compartments, there is obtained 143 tons per compartment and per metre. Water, iron, sand, concrete, gravel or even any combination of these materials can be used as ballast.

As has been seen in explaining the principle, it is a matter of indifference whether the upper and lower levels have their water surface at its normal position or not. When the boat enters the drum, the depth in the tank is always that of the level which the boat is leaving ; working may give rise to fluctuations and influence the weight of the drum. To correct any chance variations, pumps have been provided at three different places in the drum ; they are intended to pump water from the ballast compartments and discharge it into the tank, or to complete, according to circumstances, the load in the compartments by introducing water taken from the basin by a series of pipes communicating at one end with the inside of the drum and at the other with the basin.

As will be seen later on, valves allow the necessary operations for this purpose to be performed. The different cases which may arise will be examined.

Let it be assumed that the drum be ballasted by means of a constant load of 8,264 tons and that it is in front of the upper level with the gates open. It is well to adopt as a constant ballast the least admissible weight, because in this way the drum has always a tendency to rise, which is favorable.

I. — LET IT BE SUPPOSED THAT THE UPPER LEVEL CONTAINS ITS MAXIMUM DEPTH OF WATER

A. The lower level has also its maximum depth. — The boat enters ; the gates are closed ; the drum, moved by propellers, to

be described hereafter, descends ; the downstream gates are opened and the boat goes out. No extra ballast is needed to make the descent, because the least ballast corresponds to the maximum depth of the upper level and because the position of the water surface in the drum coincides with that of the lower level.

B. *The water surface in the lower level is at its normal position.* The boat enters, the gates are closed ; during the descent, which lasts three minutes, a part of the water in the tank is allowed to flow into the ballast compartments of the drum, so as to lower the level of the water in the tank by 20 centimetres. For this purpose 126 cubic metres of water are pumped into the compartments. When the drum reaches the bottom of its trip and the gates are opened, the normal level attained within the drum corresponds to that in the lower level of the canal. During the ascent which takes just as long, the 126 cubic metres of water taken from the tank must be restored to it. For this, three centrifugal pumps are used, which can be put to work without any previous priming and which are connected directly to an electro-motor. When the apparatus reaches the top, the levels of the water surface in the canal and in the drum coincide.

C. *The surface of the lower is at its lowest.* — The boat enters; the gates are closed ; during the descent 40 centimetres of depth, or 252 cubic metres, are taken from the tank and poured into the compartments ; in this way the surfaces will correspond at the end of the trip. Returning, the pumps restore the 252 cubic metres of water to the tank in 3 minutes.

II. — SUPPOSE THAT THE WATER SURFACE OF THE UPPER LEVEL BE AT ITS NORMAL POSITION

A. *The water in the lower level is at its highest.* — The boat leaves the upper level ; the gates are closed ; 126 cubic metres of water are taken from the reservoir, by the pipes set for this purpose, and run into the tank. The difference of weight is balanced and the drum can be lowered, the water inside being flush with the surface of the water in the lower level. To raise the drum again, 126 cubic metres of water are taken from the tank and put into the ballast compartments which brings the water surface in the tank again flush with that in the upper level. For a new descent the same volume of water will be pumped again into the tank, and so on.

B. *The surface of the lower level is at its normal position.* — The procedure will be as before, 126 cubic metres of water taken from the basin and run into the ballast compartments to produce equilibrium. This volume of water will be kept in the compartments as long as the water surfaces remain constant.

C. *The surface of the lower level is at its lowest.* — The boat enters the tank ; 126 cubic metres of water are taken from the basin and run into the ballast compartments to establish equilibrium. During the descent 126 cubic metres of water are transferred from the tank to the compartments to make the water surfaces inside and outside coincide. When the drum goes up, 126 cubic metres of water are transferred back to the tank.

III. — THE SURFACE OF THE UPPER LEVEL IS AT ITS LOWEST

A. *The surface of the lower level is at its highest.* — The boat enters the tank ; the gates are closed ; by taking 252 cubic metres of water from the basin and putting it into the tank, the equilibrium is again established and when the drum reaches the lower level, the surface of the water inside and outside will coincide. Ascending, this same volume of water goes from the tank to the ballast compartments. Redescending, the water is pumped back again to the tank, and so on.

B. *The lower level is at its normal position.* — Half of the volume of 252 cubic metres taken from the basin will go into the tank and the other half into the ballast compartments. Ascending, 126 cubic metres are passed from the tank to the compartments. Redescending, this quantity of water is again taken from outside and poured into the tank.

C. *The lower level is at its lowest.* — Two hundred and fifty two cubic metres of water are taken from the basin and placed in the ballast compartments ; it is left there so long as the levels remain the same.

It is seen, by what precedes, that the three pumps must be able to raise a volume of 252 cubic metres of water to a maximum height of 6 m. 50 during the time of the trip, which makes 28 cubic metres per pump per minute. The horizontal centrifugal pumps, which it is proposed to use, will be so placed that the height of suction shall be the least possible. Shunt motors, which can be regulated, of about 40 horse power and making 400 to 500 revolutions a minute, will be used. They will be coupled directly to the pumps and will run under good conditions. Care will be taken to provide easy access to the parts and to the necessary works for water-tightness where

the closures are made. To facilitate the moving of the water, mains of 400 millimeters inside diameter are provided. They can be opened or closed by gates moved by electricity. Each gate is provided with a continuous current central motor of about 2 horse-power making 800 revolutions a minute, which, through the medium of a transmission of 40 revolutions, allows the gates to be opened or closed in a few seconds.

The drum must be able to ascend or descend. This result can be reached in various ways. Theoretically, in the matter of overload, the mere weight of one person would suffice to start the descent ; it is not so in practice, because, generally, by reason of the great number of boats to be passed, there is every reason to have the ascent and descent made more rapidly. Operations can be hastened, in case of descent, by letting a certain quantity of water come in, and by letting it run out for the ascent. The maximum pressures to be overcome are about 5 atmospheres ; losses of head should be considered also in the motor and in the pump.

Operations could be hastened too by reducing and enlarging alternately the volume of the drum by means of aspirators.

The deep study given in connection with submarine boats causes the belief that, in the present case, the use of two horizontal propellers would give good results. The movement to be obtained is, indeed, that of a submerged body which is to be displaced vertically. By coupling the propeller shafts to the electro-motors, a very satisfactory result could be obtained. Two screws will be used, so as to be entirely master of the movements to be imparted to the diving body. To determine the force which these machines must develop, it has been assumed that the trip is to last 3 minutes, namely : 1/2 minute to get under way, 2 minutes to make the trip, 1/2 minute to check up and stop.

The displacement of the drum causes that of the water in the basin or reservoir (to be described further on) and in the mains of communication, and the resistances due to friction will have to be overcome. To accomplish the necessary work, two 30 horse-power motors, each driving a screw, will be amply sufficient.

Apparatus of the Roosen system (see Report of Proceedings of the IXth International Navigation Congress of 1902, page 519) are provided in the watch room to show the levels of the water in the ballast compartments : *a*) markers of the depth of immersion of the drum in the reservoir (pressure gage) ; *b*) indicators of the maintenance of the horizontal position ; *c*) indicators for

the vertical position ; besides the switchboard for the different motors, and the telephonic outfit which gives communication with the outside. The necessary electricity is brought in by two cables, each containing a series of copper wires for the propagation of the motor current, supplying the lamps and working the telephone, and a steel wire to increase resistance. These cables go up and down with the apparatus, being wound up automatically, by the aid of a counterweight, on a drum 4 metres in diameter, or unwinding from this drum. This outfit is placed in two small houses set on top of the reservoir.

It is necessary to guide the movements of the boat drum as it goes up and down. Besides, as will be seen further on, a slight horizontal impulse must be allowed for, to be given at the start. This is obtained by the assistance of a set of small tangential wheels and of small wheels set in the axis of the drum.

The two ends of this drum are provided with water-tight fastenings ; the joints coming against the walls of the reservoir are made of linden wood fitting as close as possible, in order to avoid all loss of water, when the gates are to be opened into the upper or lower level to let the boats in or out.

It will be remarked, to finish the description, that it had been intended at the beginning to complete the installation of the boat drum, providing a sort of air shaft with a winding stairway leading permanently to the outside air ; this shaft would have served for ventilating and for placing the electric cables. But in seeking the volume of air which should be provided for a person in an inclosed space, it was found that it was unnecessary to add this shaft whose weight, moreover, would have had to be lifted every time the drum rose.

The tank of the boat drum, contains alone 2,800 cubic metres of air ; there are, besides, air reserves in the non-ballasted compartments. This volume of air would suffice, during several hours, for the whole personnel, which will include at the maximum two agents and the boatman's family ; so it is not necessary to worry about the 3 or 4 minutes that the trip lasts. This question has been studied in connection with submarine boats, and its solution confirms the view of the matter taken in regard to what concerns this elevator.

It will be well, however, to see that the funnels of steamboats passing through the elevator are kept closed during the trip.

2. *The reservoir (or basin).*

It is formed of a hollow mass of armored concrete, built in the axis of the canal ; its outside dimensions are 96×40 metres in plan. The inside well of the mass is completely filled with water ; it has the shape of a parallelopipedon and measures 74 m. 80 long, 17 m. 60 wide and 51 m. 90 high ; its upper and lower bases are semi-circular ; the boat drum moves vertically in this cavity. This drum rests on wooden bolsters when it is at its lower position ; it strikes against wooden pieces fixed in the ceiling when it reaches the top of its trip. To allow boats to come in and go out, water-tight sliding gates have been provided in the frontal parts of the reservoir, that is to say, in the upper part of the upstream head and in the lower part of the downstream head.

The dimensions of the upstream gates, in the project, are such that the drum can leave the reservoir, and, besides, the upper level of the canal is widened and deepened above the reservoir so that the drum can be stored there. Let it be remarked that there is no absolute necessity to take the drum out of the reservoir and into the upper level, because the whole metallic framework can be set up, from the very beginning, wholly inside of the reservoir, and all parts of the drum can be visited easily, by drawing off a certain amount of water from the well. Hence an appreciable saving can be had by giving up the making of this large special gate on the upstream side, and by providing no widening or deepening of the level for an exit of this sort.

The large octogonal opening provided, in the project, for the upstream head measures $21 \times 16,50$ metres ; it is closed by means of a floating gate.

No opening of the same size could be provided in the lower part of the downstream head, because the base of the structure would have been weakened too much. It may be remarked that it would be useless there and that, if it were desired to visit the drum when in its lowest position, the water in the reservoir would have to be drawn off entirely, which would be exceedingly inconvenient for navigation. For daily use, an opening of $9 \times 7,10$ metres has been made in the floating gate by means of gates like those which close the ends of the drum, and which are worked by motors placed on the platform of the reservoir. The downstream head has a similar opening ; it is closed by the aid of a float and slide door which moves laterally

and which is handled by a motor placed in special house A. Boats are drawn into and out the tank by means of electric capstains.

All the walls of the reservoir are to be built of armored concrete ; the thicknesses are calculated so as to resist any forces which may come into play, according to the formula given in the *Notebook for 1904 for Austrian Engineers and Architects*, page 234.

The reservoir is considered successively empty and full. The dimensions of the inside well have be reduced to what is strictly necessary. In order to facilitate the movement of the drum in the water of the reservoir, canals have been provided in the walls of the latter to favor the circulation of the water. A part of these canals (E) open out at the bottom of the reservoir ; they can be used for braking when the drum descends, by closing a gate or valve placed on a main which connects them together.

Communication between the upstream and downstream heads is assured by winding stairs in the turrets, which serve as counterforts to the walls of the reservoir. A rotary pump and its motor, set in one of the turrets, are intended to provide for the filling of the hurtful space existing between the drum and the wall of the floating gate : the same turret also holds the reservoir of water necessary for this purpose (the pump must raise 4 cubic metres of water per minute to a height of 7 metres, corresponding to a work of 15 horse-power). A second pump has also been provided for filling the basin above the water surface of the upper level. This pump must raise 6 cubic metres of water per minute to a height of 15 metres, which corresponds to a work of 40 horse-power. Various dimensions appear on the plans.

The possibility of emptying the reservoir has been foreseen, although this emptying will only be necessary in wholly exceptional cases, seeing that the various movable parts can be replaced without resorting to a complete drawing off of the water.

In freezing weather, the drum should be at the bottom and in communication with the lower level. The great thickness of the walls of the reservoir will preserve the latter from the attacks of the frost ; the water inside would only become cold there with great difficulty. If it were necessary, steam might be turned in there to increase the temperature.

A maximum velocity of 0 m. 24 per second, with an accelera-

tion of 0 m. 008 per second at the start, has been assumed for the drum.

Under these circumstances, the speed of the water in the circulation canals will reach 0 m. 54 per second.

The uniform distribution of the canals and the action of the screws will insure the drum's being kept horizontal.

To take the drum out into the widened and deepened part of the upper level, the floating gate must be thrown down toward the inside, after the water in the reservoir shall have been lowered to the surface of the water in that level. (See Plate II.) Besides, the drum can be made to revolve on its axis, and all parts can be visited, by filling certain ballast compartments and emptying others.

The opening required by the daily needs of navigation is made in the gate which is 4 m. 50 thick ; it is closed by means of two sliding leaves, one of which goes up and the other down on the inside of the large gate. These leaves are fitted as closely as possible to the shape of the drum, so as to keep the losses of water down to the least possible. The 20 horse-power motor which drives the leaves is set on top of the reservoir ; its connections with the lines leading to the leaves can be thrown into or out of gear at will. The frame of the joints of the floating gate should rarely be visited ; it is formed wooden bolsters.

The sliding gate of the downstream head of the reservoir (F) is floating ; it runs sideways into a recess constructed for the purpose, and is moved by a windlass. The water in the recess will stand always at the same height as the surface of the lower level.

It is not necessary to empty the reservoir in order to visit the connecting joints of the downstream head to which the drum should be fitted. The visit can best be made by applying as well as possible against the wall of this reservoir a small movable coffer-dam open on top.

A 25 horse-power pump is placed on the downstream head, to lift 8 cubic metres of water a minute to a height of 7 metres, into a reservoir I, intended to fill the hurtful space between the sliding gate and the drum.

Arrangement of the canal and works of art.

The cross-section of the canal shows a bottom width of 15 m. 60, slopes of $8/4$ and berms of 0 m. 50. The slopes are

paved with rubble masonry, and strengthened by piling. The canal is widened above and below the work so that boats can lie there. The depth of the widened part above corresponds to the draught of water of the drum and of the floating gate. The widened parts are 100 metres long. The bottom of the ditch is revetted on each side of the elevator with flagstones of armored concrete.

The embankment alongside of where the drum lies is protected by a wall of armored concrete, built according to an American process, to prevent any danger of filtration or sliding.

For perfect safety in case of accidents, the upper level can be isolated by means of a guard gate, whose panels turn on horizontal axes; compressed air is used to put them in place, and hydraulic pressure gives the means of applying the gate against the water-tight joints of the frame.

The large floating gate of the upstream head is protected against collisions by bolsters and by two floating pontoons, which serve at the same time as a foot bridge and railing.

General arrangements.

The site of the elevator must be so chosen that the foundations of the work can be made perfectly safe, and that the excavations can be used for fills. The installation of the service buildings will be completed by an electric station. 100 ampères at 220 volts tension will be enough for lighting completely the lift and its surroundings. The necessary motive force is estimated at 50 horse-power; it will be provided at all times by an electric motor. If a normal tension of 220 volts be assumed for operating needs, there will be required in all 270 ampères.

A dynamo of 310 ampères, built for a tension of 240 volts (75 kilowatts) and driven by a 125 horse-power engine making 150 revolutions a minute, will be adopted. The engine will be condensing, with one cylinder, and will be superheated up to 250 degrees C. Furthermore, an accumulator of 100 cells, able to furnish 300 ampères per hour will be utilized; so the dynamo should be able to raise the tension to 320 volts. Besides, it will be well to install in the engine house a compressor able to supply compressed air to the pneumatic valve of the reservoir, drum and guard gate. Steam will be furnished by a Cornwall boiler of 70 square metres heating surface, able to

produce 900 kilos of steam per hour. There will be also a reserve boiler. The pressure allowed will be 8 kilogrammes per square centimetre (= 114 lbs per sq. in.). The feed water will be taken from the basin.

Operation.

Let it be assumed that a boat is to be raised from the lower to the upper level; the drum being at its lowest position, the sliding gate is opened and then the leaves. The boat is taken in, using the electric capstan B, set in motion from the pump house A, which is in charge of an assistant engineer. Then the leaves are closed, and the motor, which will close the sliding gate F in 30 seconds, is started. Then the reservoir valve J, set in the wall of the work, is opened, and thus provision is made for filling the hurtful space between the drum and the sliding gate F; this operation lasts one minute; the end is announced automatically in the pump house A. Then the motor which works the cylindrical valve R is set in motion, so as to make the water circulate in the channels E and K, and to lead it under the drum.

The chief of the watch house then starts the horizontal screws, whose action causes the drum to rise, and 3 minutes later the latter will be in its upper position. It will be assumed that it requires a half-minute to open the valve R and to perform the other accessory operations. While the drum is rising, the centrifugal pumps should be called into play, if necessary, to have the depth in the tank correspond with that in the upper level and the surface of the water inside and outside to coincide when the drum reaches the top of its trip. The engineer of the drum telephones to an assistant in the pump house A, at the upstream head of the work, to let the water between the leaves of the drum and the floating gate run out into the upper level, which is done by means of the pipe H, and this operation lasts a minute. The agent at A then opens the passage of the floating gate, which takes 30 seconds. He lets the engineer in the drum know when the operation is finished and the latter opens the upstream leaves of the drum, which also takes 30 seconds, and finally the boat can go out. It is seen that the leaves of the drum and the opening through the floating gate are not under heavy pressure when they are to be opened.

To insure complete safety, care is taken not to stop the

screws entirely when the drum arrives at the top of its trip ; their speed is slackened, however, so as to sustain, as it were, the drum and press it up against the thrust bolsters set in the upper part.

The boat is taken out as it was brought in, by means of an electric capstan ; the operation taking 5 minutes.

During this space of time, and 5 minutes more, that is during the time taken by the descending boat to enter the drum, the assistant at A should provide for filling a 60 cubic metre reservoir in the tower, by starting a centrifugal pump. The water is taken from the upper level ; the volume of water required is 40 cubic metres, which must be lifted an average height of 6 metres. This volume is sufficient to fill the hurtful space between the floating gate and the closing leaves of the drum. Hence the centrifugal pump in A has only to lift, at the most, 4 cubic metres per minute, to supply this upper reservoir.

After the boat is in the drum, the upper leaves are closed at the same time, for which 30 seconds are required.

It is superfluous to give the subsequent manœuvres which are the reverse of those described above. Thirty five minutes in all are needed. To perform 60 operations of this sort, that is 30 in each direction, there would be needed at most 30×35 minutes = 17 1/2 hours, or 18 hours in round numbers. This result, in the matter of the efficiency of the work, is most favorable.

The crew required is as follows : If the watch is 12 hours, there must be one chief conductor, one chief engineer in the engine house, two engineers for the drum, one fireman in the boiler house, an assistant at the upstream head, and one at the downstream head, 7 persons in all.

If the operations are to go on during the whole of the twenty four hours, there will be needed a chief conductor, a chief engineer, 4 engineers (employed in either the drum or in the engine house), two firemen in the boiler house, and four assistants, or 12 persons in all.

It follows from the preceding description that, if the very small quantity of water which may leak out at the joints be excepted, the upper level loses no water.

The elevator can be kept on running without interruption during the entire year, in the way mentioned above, so long as the atmospheric conditions outside do not interfere with traffic on the canal.

First cost and operating expenses.

The cost of construction of the drum, reservoir, station, buildings and 300 metres of canal above and below, amounts (including the acquisition of ground) to 1,176,600 crowns for the boat drum, 3,265,280 crowns for the reservoir, 132,600 crowns for the electric station, and 415,000 crowns for the canal, or 4,990,000 crowns (1), or 5,240,000 francs, or again, 4,241,500 marks in all.

The cost of administration, operating and maintenance may be estimated in accordance with data given by Mr. Prüssman, Inspector of hydraulic works, in an article published in 1899 in connection with the project for a canal from the Elbe to the Rhine, as follows: *a)* at 0.4 % of the cost of the construction works and accessory plants; *b)* at 5 % of the cost of setting up pumps, boilers and engines; *c)* at 100 % of the cost of administration and of motive power at work.

From these figure are deduced the following annual expenses:

1° Under letter *a)* 0.4 % on 4,466,620 crowns or 17,886.40 cr.

2° Under letter *b)* 5 % on 158,200 crowns or 7,910 cr.

3° Under letter *c)*:

A. If operations last 12 hours, a force of 7 men is needed, giving 8,000 crowns as cost of administration; this sum becomes 12,500 crowns when operations last 24 hours, requiring 12 men.

B. So far as motive force is concerned, the cost is found to be that given below, if 270 working days a year be assumed, as does Mr. Sympher, in his article *On the economic importance of the canal from the Elbe to the Rhine*, published in 1899.

For 12 hours' running:

The motive force expended is $35 \times 12 \times 270$ kilowatt-hours;

Needed also for lighting $20 \times 12 \times 270$ »

or $55 \times 12 \times 270 = 178,200$ »

Or in round figures 180,000 kilowatt-hours.

For 24 hours' running:

The motive force expended is $35 \times 24 \times 270$ kilowatt-hours;

And for lighting $40 \times 24 \times 270$ »

or $75 \times 24 \times 270 = 486,000$ »

Or in round figures 490,000 kilowatt-hours.

(1) 1 crown = \$ 0.2027.

The colliery regions being supposed to be situated near by the work, and the electric energy having to be produced on the ground, it may be admitted that the cost would amount to 6 hellers (1) per kilowatt-hour, which gives respective totals of 10,800 crowns and 29,400 crowns for the two times of running considered. Consequently the cost of administration and motive power amount for the year to 18,800 crowns or to 41,900 crowns according as the running time is 12 or 24 hours. The total sum of groups *a*, *b* and *c* is 44,576.50 C in the first case, or 45,000 C in round figures; it reaches 67,676.40 C, or a round 68,000 crowns in the second case.

Estimating, as is generally done in Germany for hydraulic works, on 3 % interest on the capital invested, and on 1/2 % per year of the capital invested for a sinking fund (let it be remarked on this point that most of the authors of projects for elevators and inclined planes intended for the navigable underways of Austria have omitted to provide for the necessary sinking fund) there is found for the first year.

a	sum of 149,700 crowns for interest and
»	» 24,950 » » depreciation

A total of 174,650 crowns.

The table below sums up the above results :

A. Cost of administration, operating and maintenance			
a)	Service of 12 hours	45,000 C	
b)	» 24 hours		68,000 C
B. Sinking fund and interest		174,650 C	174,650 C
Total per year		219,650 C	242,650 C

Sympher assumes (see his article on *The economic importance of the canal from the Elbe to the Rhine*) that only half the boats in use carry a load of 500 tons of freight, and that the other half carry only 100 tons which gives a mean load of 300 tons. Schoenbach takes 360 tons on an average (see the Report of proceedings of the IXth International Navigation Congress of 1902), and Moravek (see *Oesterr. Wochenschrift f. d. off. Baudienst*, 1903) allows in his projects, for the traffic of 600-ton boats, a loading coefficient of 80 %, and for cargo 60 %.

An average load of $\frac{600 \times 120}{2} = 360$ tons will be assumed for

(1) 1 heller = crowns 0.01.

boats of 600 tons, which gives a *total annual traffic* of $40 \times 360 \times 270 = 3,888,000$ tons or 3.5 million tons in round numbers, for a daily service of 12 hours, and of $80 \times 360 \times 270 = 7,776,000$ tons or 7 million tons in round figures, if the service be of 24 hours.

The cost per ton and per metre of lift may be estimated thus :

a) If the service last 12 hours :

1° Cost of operation and maintenance . . .	0.036 heller
2° Sinking fund and interest	0.140 »
<hr/>	
Total	0.176 »

b) If the service last 24 hours :

1° Cost of operation and maintenance . . .	0.027 heller
2° Sinking fund and interest	0.069 »
<hr/>	
Total	0.096 »

After paying off the capital, these expenses become respectively 0.036 heller and 0.027 heller (1 crown = 100 hellers = 1.05 francs = 0.85 marks).

Final considerations.

It may be objected that the diameter of the drum is great, that the thickness of the sheet-iron is beyond the ordinary dimensions, and that the thickness of the walls of the reservoir is unreasonable. These large dimensions were taken so as to meet all the demands of the problem. It is for this reason again that a floating gate has been taken for the upper head although an ordinary sliding gate might have sufficed, because to reach all parts of the drum and repaint it, without taking it out into the upper level, the water within the reservoir might be lowered a little and the maintenance work undertaken, after having suspended the drum, if necessary, or else after having placed the required supports underneath. To make the visit easier, gates and additional means of access might have been provided in the walls of the reservoir. Besides, the widening of the level arranged in view of taking out the drum, would be useless and a saving of about 60,000 crowns would be realized on this point.

All the disadvantages arising from the construction of locks and inclined planes are avoided in this project for a lift, which, in this respect, must be considered as better.

Attention is called especially to the following advantages :

1° The cost of maintenance is small, it reduces to repainting the metallic parts, as these parts have to be exposed to atmospheric influences ;

2° The number of mechanical pieces, whose breaking might involve a suspension of operations, is very limited ;

3° The foundations do not have to be very deep ; no sinking of wells or shafts is required ; the foundations can be built without difficulty, and besides, all the lower part will be, so to speak, closed in on four sides from the beginning of the work, which will allow the later installations to be put in dry ;

4° There is no lack of precision in what concerns the importance of the coefficients of resistance to friction ;

5° In the matter of losses of water, but an insignificant quantity can leak through the joints ; the water used to fill the hurtful space between the drum and the outside gates returns to the level whence it was taken ; hence no water passes from above to below ;

6° No mechanical or other pieces of difficult construction, whose making would require special workmen, have to be worked up ; hence, unlimited competition can be called on to install the work and not be limited to the few houses better equipped than the others ;

7° Recourse should not be had to foreign technicians and workmen for the execution of works, national industry can furnish everything necessary ;

8° In relation to the lower level, the movable parts reduce to the sliding gate whose greatest depth is 3 metres. and which can be easily taken out of the water when the drum is in its lower position ;

9° The moving body makes its trip without being subjected to shocks and oscillations ; the movement is regular and offers no danger ;

10° The installation includes no pieces which are hard to replace, such as cables, rods with screw ends, heavy rack rails, the placing of which requires strong anchorages ;

11° The operating is simple and requires no hands of long experience ;

12° The elevator cannot suffer from effects of wind and snow ;

13° Frost and great changes of temperature cannot derange or stop the working of the elevator ;

14° The efficiency of the work is in excess of what had been fixed for the Austrian competition, and surpasses that of the

various inclined plane elevators projected up to the present time ;

15° The first cost of the work is less than that of any other system ;

16° The running expenses are very small ;

17° The weight of the boat to be carried may reach any desired limit, provided that its capacity be proportioned to the dimensions of the tank in the drum ;

18° The system here set forth can be applied to lifts much greater than 50 metres and possesses a great efficiency, which can be increased by placing a second drum in the reservoir. In this latter case certain inside dimensions would have to be enlarged without increasing the thickness of the walls. The two drums can be connected together so as to reduce the motive power to a minimum.

Still it is thought, in the matter of the greatest practical height admissible, that it should be limited to 50 metres.

To overcome greater heights and reach 100 metres, it would be well to adopt a double plant in stories.

The arrangements would be, as a whole, just as simple, and analogous to two locks in a flight, without, however, causing any loss of water.

The authors are convinced that the project for an elevator which they indorse fulfils the following conditions, both in its main features and in all its détails :

a) *Theoretically, it is simple and easy to design ;*

b) *Practically, it is easily applied and offers great safety in operating ;*

c) *Its first cost is small and advantageous.*

WOUTER COOL

JONKHEER C. E. W. VAN PANHUYS.

PERMANENT INTERNATIONAL ASSOCIATION
OF
NAVIGATION CONGRESSES

X. CONGRESS - MILAN - 1905

I. Section : Inland Navigation
3. Question

REPORT
BY
WOUTER COOL C. I.
and
JONKHEER C. E. W. van PANHUYS, C. I.

PLATE I.

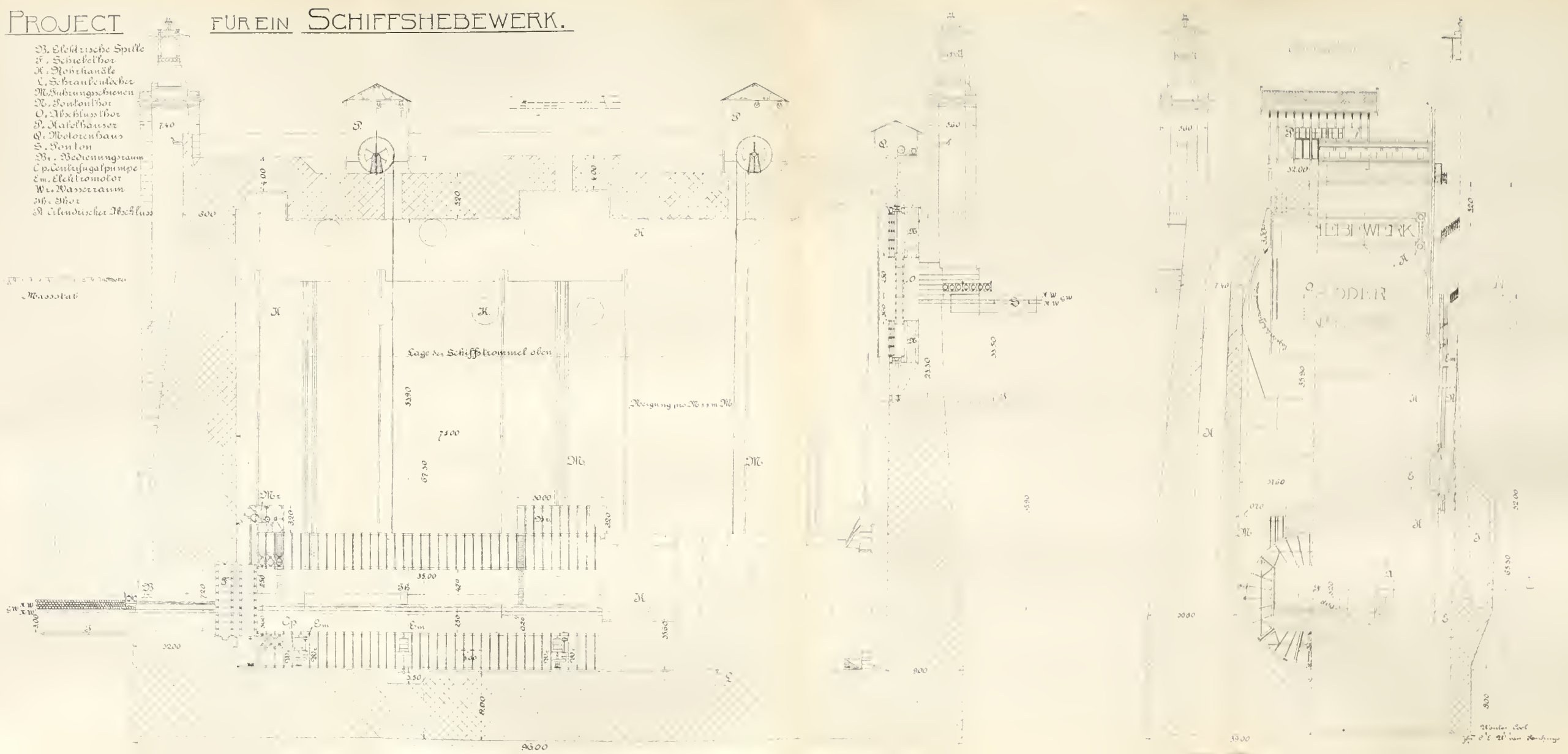
PERMANENT INTERNATIONAL ASSOCIATION
OF
NAVIGATION CONGRESSES

X. CONGRESS - MILAN - 1905

I Section : Inland Navigation
3. Question

REPORT
BY
WOUTER COOL C. I.
and
JONKHEER C. E. W. van PANHUYS, C. I.

PLATE I.



PERMANENT INTERNATIONAL ASSOCIATION
OF
NAVIGATION CONGRESSES

X. CONGRESS - MILAN - 1905

I. Section : Inland Navigation
3 Question

REPORT
BY
WOUTER COOL C. I.
and
JONKHEER C. E. W. van PANHUYS, C. I.

PLATE II.

PERMANENT INTERNATIONAL ASSOCIATION
OF
NAVIGATION CONGRESSES

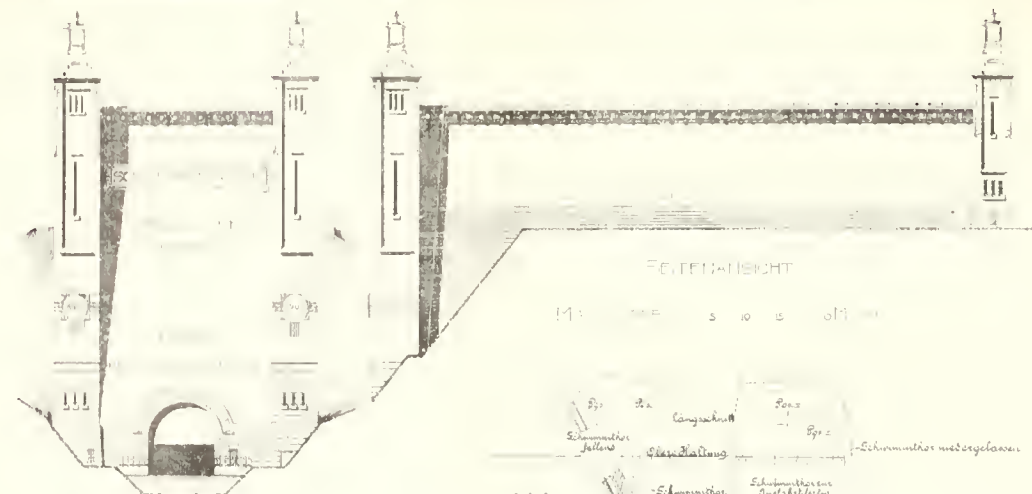
V. CONGRESS - MILAN - 1903

I Section: Inland Navigation
A Question

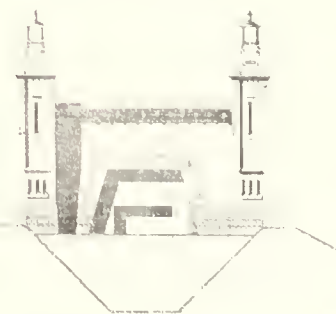
REPORT
BY
WOUTER COOL C. I.
and
JONKHEER C. E. W. van PANHUYSEN, C. I.

PLATE II

PROJECT FÜR EIN SCHIFFSHEBEWERK.



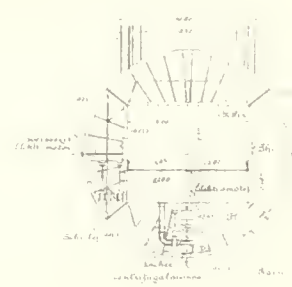
Ansicht von oben



Stellungen des Sontenthor

Schleifbahn am Uferkaim des Sontenthor
vertikales Durchschneiden der Längungsseile
an der inneren Seite

Kreuzschnitt der Schiffstrommel
in der Mitte der Längungsseile

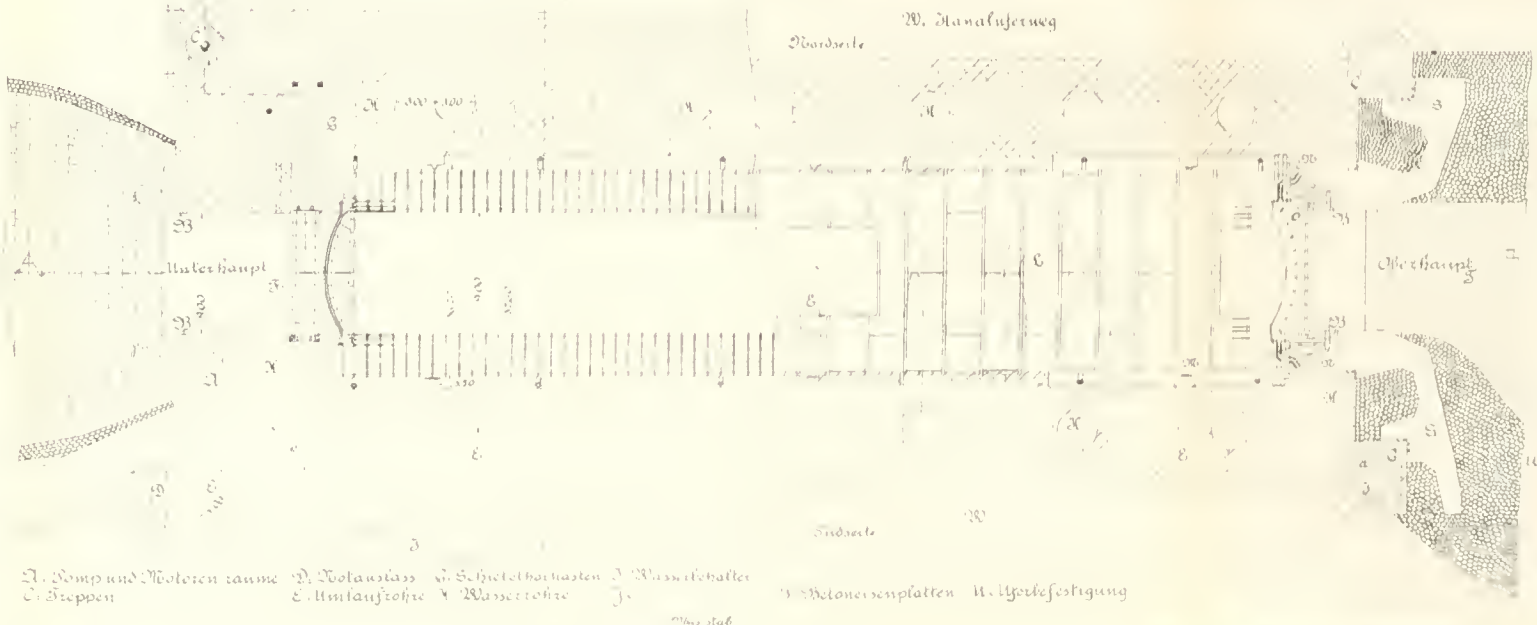


Querschnitt der ersten Durchgangsbohle
des Aufhängesystems des Abschlusses

Querschnitt der ersten Durchgangsbohle

Vertikale Durchgangsbohle des Abschlusses des Schiffstrommel

Querschnitt der mittleren Durchgangsbohle



1. Dampf und Motoren raum
2. Treppen

3. Volantass
4. Umlaufrolle

5. Schietelhorntasten
6. Wasserrohre

7. Wasserschalter
8. Wasserrohre

9. Betonsteinplatten
10. Uferbefestigung

11. Uferbefestigung

Wouter Cool
für C. I. W. van Panhuysen

627.06
I N R
1905

ASSOCIATION INTERNATIONALE PERMANENTE

DES

CONGRÈS DE NAVIGATION

X^e CONGRÈS - MILAN - 1905

I. Section : Navigation Intérieure

3. Question

ÉTUDE

DES

Systèmes propres à racheter les grandes chutes

ENTRE LES BIEFS DE CANAUX

RAPPORT

PAR

WOUTER COOL C. J.

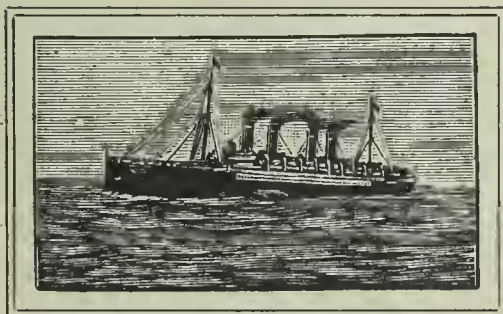
Ingénieur à l'administration communale des travaux de Rotterdam

ET

JONKHEER C. E. W. VAN PANHUYS C. J.

Ingénieur des travaux hydrauliques de l'Etat à Horn (Hollande)

NAVIGARE



NECESSE

BRUXELLES

IMPRIMERIE DES TRAVAUX PUBLICS (SOCIÉTÉ ANONYME)

18, Rue des Trois-Têtes, 18

1905

Moyens de racheter les grandes Différences de Niveau

RAPPORT

PAR

WOUTER COOL C. J.

Ingénieur à l'administration communale des travaux de Rotterdam

ET

JONKHEER C. E. W. VAN PANHUYS C. J.

Ingénieur des travaux hydrauliques de l'Etat à Horn (Hollande)

Projet d'ascenseur pour bateaux.

Introduction.

La recherche des moyens propres à racheter les grandes différences de niveau qui se présentent dans le tracé de certains canaux de navigation intérieure, constitue incontestablement un des problèmes les plus difficiles que la science moderne de l'ingénieur ait à résoudre.

Les études faites pour l'établissement de canaux en terrain plat dans les grandes plaines d'Europe ont peu contribué à la solution du problème; ce sont surtout les projets dressés en vue de l'établissement d'importantes voies de navigation dans les parties accidentées de l'Allemagne et de l'Autriche, ainsi qu'en Belgique, en Italie, en Russie et en France, qui ont fait faire à cette question de marquants progrès. Néanmoins les séances du IX^e Congrès de navigation, tenues à Dusseldorf, n'ont pas conduit à faire prévaloir un système d'ascenseur sur l'autre. Il paraît donc utile de poursuivre les recherches entreprises jusqu'ici et nous nous proposons par le présent travail de contribuer autant que possible à la solution de la question. Nous prendrons pour bases de notre projet celles du concours organisé par le gouvernement autrichien en vue de l'établissement d'un système d'ascenseur pour bateau à Prerau sur le canal du Danube à l'Oder.

Nous considérerons donc des bateaux de 67 mètres de longueur, 8 m. 20 de largeur et 1 m. 80 de tirant d'eau. Nous admettrons en outre que la dénivellation des deux biefs du canal soit de 35 m. 9 et

que la variation maxima des niveaux de flottaison de ces biefs soit de 20 centimètres en contrehaut et en contrebas de la flottaison normale.

Pour le concours autrichien, les données du problème étaient telles, en ce qui concerne les conditions locales du terrain, que toute solution autre qu'un système de plans inclinés eût été incompatible avec le but proposé. Ce concours n'a donc guère contribué à la solution générale de la question des ascenseurs pour bateaux, c'est d'ailleurs ce que le jury s'est empressé de sanctionner, en donnant dès le début la préférence à un système d'ascenseur par plans inclinés à voie longitudinale.

Dans ce qui suit, nous supposerons que les conditions du terrain soient en rapport avec le système d'ascenseur que nous proposons d'adopter et nous ferons principalement ressortir la préférence de ce système, à raison de l'économie et du degré de sécurité qui peuvent être réalisés.

On rachète les grandes différences de niveau à l'aide d'écluses, de plans inclinés, d'ascenseurs tournants et d'ascenseurs verticaux, hydrauliques, pneumatiques, à contrepoids ou à flotteurs. Dans chacun de ces systèmes l'ascension comporte une montée unique ou une série de montées étagées, suivant les conditions locales. Il convient dans chaque cas déterminé de faire l'étude de plusieurs systèmes d'ascenseurs au point de vue de la dépense d'établissement et des avantages et inconvénients inhérents à chacun d'eux.

Pour l'établissement d'un canal de grande longueur dans les pays accidentés de l'Autriche, on ne pourrait songer à adopter un type uniforme d'élévateur sur toute la longueur du tracé, parce que la hauteur de chute ainsi que les conditions locales du terrain varient d'un point à l'autre. Il y a donc lieu d'examiner chaque cas en particulier.

On a recours aux écluses pour des hauteurs maxima de chute de 10 à 12 mètres; leur système de fondation doit être sérieusement établi. Quoique l'on disposât de nombreux moyens pour épargner l'eau d'éclusage, le coût de l'eau d'alimentation dépensée est généralement très élevé, même lorsque l'établissement des installations s'est effectué dans des conditions avantageuses. Au point de vue de la sécurité de l'exploitation, les écluses l'emportent cependant sensiblement sur les autres moyens d'ascension; aussi leur donne-t-on la préférence quand leur établissement est possible.

Les écluses étagées sont moins avantageuses, par suite de la perte de temps qu'elles occasionnent et du trafic forcément restreint qui s'ensuit; elles doivent souvent être établies en série double pour remédier à ces inconvénients.

L'adoption de plans inclinés comporte l'établissement de voies ferrées longitudinales ou de voies transversales de transport suivant

lesquelles les bateaux sont déplacés soit à flot avec une certaine quantité d'eau, soit à sec et mis sur wagon (wagon à sas). Le transport à flot est avantageux parce que le poids à élever est uniforme et indépendant de celui du bateau, mais la charge du wagon est relativement élevée ; en outre, les oscillations inévitables du niveau de l'eau au commencement et à la fin de la course peuvent nuire à sa stabilité.

Pour le transport à sec, les bateaux doivent être conditionnés en conséquence, sinon le plan incliné constituerait un « lit de mort » sur lequel jamais aucun batelier ne consentirait à laisser déplacer son bateau, s'il n'avait spécialement été construit en vue de transport de ce genre. Il faut avoir vu les précautions que l'on doit prendre pour la mise d'un bateau en cale sèche pour se rendre compte des difficultés à vaincre. Des inconvénients et des pertes de temps seraient inévitables, même si les bateaux étaient construits en vue de ce genre de transport. Ce système serait au surplus inadmissible sur des voies navigables à trafic intense, car l'exploitation n'en serait possible qu'à l'aide de types spéciaux de bateaux, et ce fait viendrait précisément à l'encontre des avantages propres aux voies navigables et de leur prépondérance sur les transports par voies de chemins de fer.

Le déplacement d'un sas, capable de transporter un bateau de 600 tonnes, exige une voie ferrée des plus solidement assise, car le moindre affaissement du terrain serait susceptible d'augmenter les résistances dues au frottement au point de les rendre insurmontables.

Il y a encore lieu de ne pas perdre de vue les dispositions spéciales qui doivent permettre la dilatation de la voie ferrée. Il faut, en outre, combattre la tendance au glissement des rails, qui est surtout accentuée dans les systèmes de plans inclinés à voie transversale, qui sont cependant recommandables sous d'autres rapports.

La force motrice à mettre en jeu ne peut être évaluée avec précision, à cause d'hypothèses douteuses faites au sujet des coefficients de frottement qu'on ne peut déterminer exactement à l'aide d'expériences de laboratoire ; il est donc difficile d'établir le coût de l'exploitation d'un ascenseur de ce genre.

Le wagon à sas doit porter son moteur, si l'on adopte une voie à crémaillère, ou être déplacé par traction à l'aide de longues chaînes ou de câbles en acier, s'il en est autrement. Pour de petits bateaux et pour des installations peu importantes, il sera possible d'équilibrer les forces en jeu soit au moyen d'accumulateurs, soit en organisant des montées et des descentes simultanées.

Pour des bateaux d'une certaine importance, il ne serait pas possible d'appliquer ces combinaisons, parce que les mécanismes se compliqueraient et que l'on risquerait de compromettre la sécurité de l'exploitation.

La montée d'un wagon à sas, muni de son moteur, le long d'une voie à crémaillère, exigerait une force motrice tellement élevée que les frais d'exploitation seraient majorés outre mesure. Pour faire face aux résistances inconnues développées par le frottement, il faudrait encore exagérer la puissance du moteur en conséquence. La longueur des plans inclinés n'est pas limitée à une longueur donnée et, par suite, ces installations peuvent convenir à toutes les chutes de niveau, si la conformation locale du terrain ne s'y oppose. Quand les conditions sont telles qu'il faille franchir une différence de niveau de 100 mètres et plus en une seule ascension, la solution par plan incliné est la seule applicable.

L'essai tenté par le Gouvernement autrichien au sujet de l'établissement d'un plan incliné pour une hauteur relativement petite de 35 m. 9 a un certain intérêt scientifique, mais n'aura, selon nous, aucune autre suite pratique.

On n'a pas encore exécuté d'ascenseur tournant; les projets qui ont été dressés pour l'application de ce système sont sujets à caution.

Les ascenseurs verticaux qui existent constituent des installations pratiques et bien réussies; citons celui de La Louvière (400 T., 15 m. 4 de hauteur de chute, celui des Fontinettes (300 T., 13 m. 1 de hauteur de chute) et celui d'Heinrichenburg (800 T., 14 à 16 m. de hauteur de chute). Mais ce genre de construction, d'une exécution compliquée, n'est guère compatible avec de plus fortes hauteurs parce qu'aux grandes hauteurs d'élévation correspondent de plus grandes profondeurs de fondations, de plus grandes longueurs pour les pièces à mettre en mouvement et, qu'en outre, la sécurité de l'exploitation est subordonnée à la résistance de pièces difficiles à remplacer. Ainsi, pour les ascenseurs hydrauliques, le fonctionnement de l'installation dépend de celui de la presse élancée et relativement frêle qui porte toute la charge.

Dans les ascenseurs pneumatiques (projet du canal de l'Erié), la masse mouvante est très volumineuse (semblable à un grand gazomètre), et l'expérience fait défaut.

La hauteur des ascenseurs à contrepoids n'est pas limitée théoriquement, mais en pratique la perte de charge due au frottement des engrenages est importante, et en outre les contrepoids deviennent peu maniables pour de grandes hauteurs et de fortes charges.

Dans les ascenseurs à flotteurs, système Heinrichenburg, on doit employer de grandes tiges filetées et des pièces mouvantes diverses de grande longueur; pour des hauteurs importantes les liaisons entre le sas et les flotteurs prennent une grande extension, et la charge à soulever augmente en conséquence. — Les ascenseurs à flotteurs sont avantageux parce qu'ils permettent d'équilibrer d'une façon

parfaite les charges, que leur équilibre est toujours assuré, et que leur mise en mouvement exige un effort théorique insignifiant et indépendant de la hauteur ascensionnelle et de la grandeur des bateaux.

On peut réaliser les avantages des ascenseurs à flotteurs et en éviter les inconvénients cités ci-dessus en faisant usage du principe qui est exposé dans le livre de la science de l'Ingénieur (*Ingenieur Wissenschaften*), 3^e partie, 8^e volume, 4^e édition, page 352, et que l'on a appliqué en Angleterre, quoique d'une manière imparfaite seulement au XVIII^e siècle.

Nous avons présenté un projet de l'espèce, lors du concours autrichien d'ascenseurs pour bateaux. Nous exposons dans ce qui suit les particularités, les avantages et les inconvénients de notre système. Il est basé sur les considérations suivantes :

D'après le principe d'Archimède, tout corps plongé dans un liquide, est soumis à une force ascensionnelle égale au poids de la masse du liquide déplacé. Un tel corps sera donc constamment en équilibre, si son propre poids égale celui de la masse d'eau déplacée. Si le corps plonge entièrement, la position qu'il occupe sera sans influence sur l'équilibre ; le corps planera dans le liquide. La plus petite force suffira pour mouvoir ce corps de haut en bas ou de bas en haut d'une quantité arbitraire. Si l'on place le bateau à élever dans un corps semblable, le mouvement ascendant et descendant du bateau n'exigera qu'un travail insignifiant. Si l'on ménage dans le corps plongeur ou flotteur un sas à eau qui peut être fermé, et dans lequel on peut faire entrer le bateau, le poids propre de l'ensemble immergé restera constant que le sas porte un bateau ou non, si l'eau se maintient dans le sas à la même hauteur. Il n'y a qu'à aménager le corps immergé de telle sorte qu'il soit accessible aux bateaux, et l'ascension se fera pour ainsi dire sans dépense de travail.

Nous avons donné au corps immergé la forme d'un grand cylindre ou tambour, qui contient un sas à eau fermé aux extrémités au moyen de vantaux. Il se meut dans un grand réservoir clos, qui peut être mis en communication par l'ouverture de portes soit avec le bief supérieur, soit avec le bief inférieur.

On verra plus loin jusqu'à quel point l'hypothèse théorique — d'une perte d'eau nulle — peut être réalisée.

Les règlements organiques du Congrès limitent notre étude au strict nécessaire ; nous nous mettons néanmoins à la disposition des intéressés pour leur fournir tout renseignement complémentaire.

Aménagement de l'ascenseur.

L'ascenseur proprement dit comprend deux parties principales : le tambour à bateau et le réservoir.

1. *Le tambour à bateau.*

Nous considérons des bateaux de 67 mètres \times 8 m. 20 \times 1 m. 80 et une hauteur libre de 4 m. 50. Afin d'éviter tout inconvénient et eu égard aux oscillations du niveau de flottaison, qui peut varier de 20 centimètres, nous avons donné au tambour 70 mètres de longueur, 9 mètres de largeur, 7 m. 20 de hauteur et un mouillage qui peut aller de 2 m. 30 à 2 m. 70.

Pour l'exécution de l'appareil, nous avons prévu, eu égard à la force motrice et à la pression hydraulique, une série de fortes membrures circulaires à section carrée ; ces membrures sont distantes de 1 mètre l'une de l'autre et sont entretoisées. La liaison entre les différentes membrures est établie par la paroi extérieure de 21 millimètres d'épaisseur qui est continue, par 4 tôles continues ayant la même épaisseur de 21 millimètres et dirigées des quatre angles de la section transversale du sas vers la paroi extérieure du tambour, et enfin par des tôles de 21 millimètres d'épaisseur, qui forment l'enveloppe du sas, dont la section est rectangulaire. Ce tambour de 70 mètres de longueur convenablement raidi par ces tôles continues, par des profils \square et I , et par des entretoisements, est en état de résister aux pressions éventuelles latérales qui viendraient à se produire lors de la mise en mouvement.

Les extrémités du tambour sont fermées au moyen de vantaux ou de portes à coulisses qui doivent être successivement ouvertes et refermées lors des manœuvres. Ces portes sont formées de deux panneaux qui se meuvent en sens contraire.

Le panneau inférieur de ces portes a de plus petites dimensions que le panneau supérieur ; il est disposé de façon à rester constamment sous eau, afin de ne pas modifier le volume immergé du corps et de ne pas faire varier le travail moteur, toute variation pouvant rompre l'équilibre que l'on réalise dans chaque cas au moyen de lest (60.3 T.).

Lorsque l'on procède à l'ouverture des portes, le panneau inférieur descend et le panneau supérieur monte ; l'inverse se produit à la fermeture des portes. Ces mouvements sont réalisés à l'aide de deux treuils à câbles mis en mouvement par un électromoteur.

Par mesure de sûreté, on a prévu un moteur de rechange de même force (moteur à courants alternatifs de 25 chevaux-vapeur et de 500 tours par minute), tous deux à l'abri de l'eau. Des câbles d'acier

de 44 millimètres de diamètre sont enroulés sur ces treuils; leur tension-limite est de 1,500 kilogrammes par centimètre carré, avec un coefficient de sécurité égal à 10. Les panneaux des portes sont suspendus à ces câbles et manœuvrés en actionnant les treuils.

Pour réaliser l'équilibre malgré la différence de course des deux panneaux de la porte, qui se meuvent en sens inverse, on a intercalé entre les deux treuils des roues dentées disposées de telle façon que le moteur, une fois mis en marche, n'ait plus à vaincre que la seule résistance du frottement, étant donné que lorsque l'on procède à l'ouverture de la porte, cette dernière, ainsi qu'on le verra ci-dessous, ne se trouve pas sous pression.

En outre, les portes sont munies de roulettes (voir planche II) pour réduire au minimum les frottements lors de leur ouverture et fermeture, qui s'opère en 20 secondes. On a prévu le facile accès des pièces soumises à l'usure, de manière à pouvoir les réparer ou les remplacer aisément.

Les câbles sont doubles, afin de prévenir les cas de rupture; ils peuvent être tendus au moyen d'appareils spéciaux.

Les portes doivent être étanches; on doit réaliser deux joints verticaux et deux joints horizontaux étanches, sous une pression maxima d'eau de 56 mètres de hauteur.

La planche II indique comment s'effectue l'étanchement: on fait usage de bois de tilleul, et on emploie du laiton pour les surfaces frottantes de la porte et du tambour; des bandes en caoutchouc, comprimées par la pression de l'eau, assurent l'étanchéité complète.

La pression des portes sur le tambour est transmise par des entretoisements aux membrures voisines.

Outre la charpente en bois des joints, les garde-corps et les trous d'homme dans les portes et les cloisons, l'installation est complétée par trois pompes centrifuges avec moteurs, tuyauteries et vannes, deux hélices horizontales et le même nombre d'électromoteurs aménagés à l'intérieur du tambour que surmonte une cabine de service. Les pompes servent au lestage qui doit assurer l'équilibre du tambour pour les différents états de flottaison. Toute la construction comprenant le tambour, les portes et le contenu (avec ou sans bateau) pèse au minimum 6,049 tonnes pour un mouillage dans le sas de 2 m. 30, 6,175 tonnes en moyenne pour le mouillage normal et, 6,301 tonnes au plus pour le mouillage maximum. Le volume d'eau déplacé est de 14.034 m³. Le poids total qui doit maintenir le tambour immergé est donc de 14,034 tonnes.

Il y a dès lors à ajouter comme lest : *a*) pour le plus petit mouillage 7,985 tonnes; *b*) pour le mouillage moyen 7,859 tonnes et pour le plus grand mouillage 7,733 tonnes.

De toute manière, on doit donc disposer d'un lestage constant de 7,733 tonnes. En répartissant uniformément ce lest dans 54 chambres, on arrive au poids de 143 tonnes par chambre et par mètre. On peut se servir, pour le lestage, d'eau de fer, de sable, de béton, de gravier ou encore d'une combinaison de ces matières.

Ainsi que nous l'avons vu en exposant le principe, il est indifférent que les biefs supérieur et inférieur soient au niveau normal de flottaison ou non. Lorsque le bateau pénètre dans le tambour, le mouillage du sas est toujours égal à celui du bief qu'il quitte ; la manœuvre peut donner lieu à des fluctuations et influencer le poids du tambour. Pour corriger les variations éventuelles, on a prévu dans le tambour, à trois places différentes, des pompes destinées à puiser de l'eau aux chambres de lestage et à la déverser à l'intérieur du sas, ou à compléter, suivant les cas, la charge des chambres en y introduisant de l'eau prise au bassin par une tuyauterie communiquant d'une part avec l'intérieur du tambour et d'autre part avec le bassin.

Les vannes permettent, comme on le verra ci-après, d'effectuer les manœuvres nécessaires à cet effet. Nous allons examiner les différents cas qui peuvent se présenter.

Admettons que le tambour soit lesté à l'aide d'une charge constante de 8,264 tonnes et qu'il se trouve devant le bief supérieur avec les vantaux ouverts. Il convient d'adopter comme lest constant le poids minimum admissible, parce que, de ce fait, le tambour a toujours une tendance à s'élever, ce qui est favorable.

I. — SUPPOSONS QUE LE BIEF SUPÉRIEUR AIT SON MOUILLAGE MAXIMUM.

A) *Le bief inférieur a également son mouillage maximum.* — Le bateau pénètre ; on ferme les vantaux ; le tambour, actionné par les hélices, que nous décrirons plus loin, descend ; on ouvre les vantaux d'aval et le bateau sort. Il ne faut pas de lest supplémentaire pour effectuer la descente, parce que le lest minimum correspond au niveau maximum du bief supérieur et que le niveau de flottaison dans le tambour coïncide avec celui du bief inférieur.

B) *Le bief inférieur est à flottaison normale.* — Le bateau pénètre, on ferme les vantaux ; pendant la descente, qui dure trois minutes, on laisse écouler une partie de l'eau du sas dans les chambres de lestage du tambour, de manière à abaisser de 20 centimètres le niveau intérieur de l'eau, on pompe à cet effet 126 mètres cubes d'eau dans ces chambres. Lorsque le tambour arrive à la fin de sa course et que l'on ouvre les vantaux, le niveau normal réalisé à l'intérieur du tambour correspondra à celui du bief inférieur du canal. Pendant

la montée qui exige la même durée, on doit restituer au sas les 126 mètres cubes d'eau soustraite. A cet effet, on se sert de trois pompes centrifuges, qu'on peut mettre en activité sans amorçage préalable et qui sont reliées directement à un électromoteur. Lorsque l'appareil arrivera au haut de sa course, les niveaux de flottaison coïncideront de nouveau à l'intérieur du tambour et dans le bief supérieur.

C) *Le bief inférieur est à sa flottaison minima.* — Le bateau entre; on ferme les portes; pendant la descente, on soutire 40 centimètres de hauteur d'eau, soit 252 mètres cubes au sas, et on les écoule dans les chambres; de cette façon les niveaux coïncideront à la fin de la course. Au retour, les pompes restitueront en 3 minutes les 252 mètres cubes d'eau au sas.

II. — SUPPOSONS QUE LE BIEF SUPÉRIEUR SOIT A FLOTTAISON NORMALE.

A) *Le bief inférieur est à sa flottaison supérieure.* — Le bateau quitte le bief supérieur; on ferme les portes; on soutire de l'eau au réservoir par la tuyauterie installée à cet effet et on l'écoule dans le sas du tambour, jusqu'à concurrence de 126 mètres cubes. La différence de poids se trouvera équilibrée et l'on pourra procéder à la descente du tambour dont le niveau d'eau sera celui du bief inférieur. Pour remonter le tambour, on écoule 126 mètres cubes d'eau du sas dans les chambres de lestage, ce qui ramène le niveau d'eau dans le sas à celui de flottaison du canal supérieur. Pour une nouvelle descente on repompera à nouveau le même volume d'eau dans le sas et ainsi de suite.

B) *Le bief inférieur est à flottaison normale.* — On procédera comme ci-dessus pour écouler 126 mètres cubes d'eau dans les chambres de lestage afin d'établir l'équilibre; ce volume d'eau sera maintenu dans les chambres aussi longtemps que les flottaisons resteront constantes.

C) *Le bief inférieur est à sa flottaison minima.* — Le bateau entre dans le sas; pour établir l'équilibre, on emprunte 126 mètres cubes d'eau au bassin et on l'écoule dans les chambres de lestage; pendant la descente, on prend 126 mètres cubes d'eau au sas et on les déverse dans les chambres afin de faire coïncider les niveaux dans le bas. Pour la montée de l'ascenseur, on reprend aux chambres les 126 mètres cubes d'eau et on les écoule dans le sas.

III. — LE BIEF SUPÉRIEUR EST A SA FLOTTAISON MINIMA.

A) *Le bief inférieur est à sa flottaison maxima.* — Le bateau entre dans le sas; on ferme les portes; en empruntant 252 mètres cubes d'eau au bassin et en déversant cette eau dans le sas du tambour, on rétablira l'équilibre et la coïncidence des niveaux se trouvera assurée quand le tambour arrivera au droit du bief inférieur. Pour la montée, on reprendra ce même volume d'eau au sas pour l'écouler dans les chambres de lestage; à la descente, on repompera cette eau et on en alimentera à nouveau le sas du tambour, et ainsi de suite.

B) *Le bief inférieur est à sa flottaison normale.* — Le volume de 252 mètres cubes emprunté au bassin sera déversé par moitié dans le sas du tambour et par moitié dans les chambres de lestage. Pour la montée, on laissera écouler les 126 mètres cubes du sas dans ces chambres. Pour la descente, on repompera cette quantité d'eau et on la déversera dans le sas.

C) *Le bief inférieur est à sa flottaison minima.* — On prendra 252 mètres cubes d'eau au bassin, on les pompera dans les chambres à lest, et on les y laissera aussi longtemps que les mêmes niveaux se maintiendront.

D'après ce qui précède, on voit que les trois pompes doivent être en état d'élever un volume de 252 mètres cubes d'eau à une hauteur maxima de 6 m. 5, pendant la durée du trajet, ce qui fait 28 mètres cubes par pompe et par minute. Les pompes centrifuges horizontales, dont on propose de faire usage, sont installées de façon que leur hauteur d'aspiration soit aussi minime que possible. On emploiera des moteurs Shunt réglables, d'une force de 40 chevaux environ et faisant 400 à 500 tours par minute; ils seront accouplés directement aux pompes et marcheront dans de bonnes conditions. On a soin de pourvoir au facile accès des pièces et aux travaux d'étanchement nécessaires au droit des fermetures. Pour faciliter le déplacement de l'eau, nous avons prévu des conduits de circulation de 400 millimètres de diamètre intérieur. On peut procéder à leur ouverture et fermeture à l'aide de vannes mues par l'électricité. Chaque vanne est munie d'un moteur central à courant continu, d'une force de 2 chevaux environ et faisant 800 tours par minute, ce qui permet, par l'intermédiaire d'une transmission de 40 tours, d'ouvrir ou de fermer les vannes en quelques secondes.

Le tambour doit pouvoir monter et descendre. On peut arriver à ce résultat de différentes manières. Théoriquement, en fait de surcharge,

le seul poids d'une personne serait déjà suffisant pour provoquer la descente; en pratique, il en est autrement, parce que, généralement, par suite du grand nombre de bateaux à faire passer, on a tout intérêt à voir la montée et la descente s'opérer plus rapidement. On peut activer les opérations en laissant pénétrer une certaine quantité d'eau, s'il s'agit d'effectuer la descente, et en en écoulant, si l'on veut procéder à une ascension. Les pressions maxima à vaincre sont de 5 atmosphères environ; il y a lieu, en outre, de tenir compte des pertes de charge dans le moteur et dans la pompe.

On pourrait aussi, pour accélérer les opérations, réduire et augmenter alternativement le volume du tambour au moyen d'aspirateurs.

L'étude approfondie qui a été faite à propos des sous-marins nous porte à croire que, dans le cas qui nous occupe, l'usage de deux hélices horizontales conduirait à de bons résultats; en effet, le seul mouvement à réaliser est celui d'un corps immergé, qui doit être déplacé verticalement dans l'eau. En accouplant directement les arbres des hélices aux électromoteurs, on pourra arriver à un rendement très satisfaisant. On aura recours à deux hélices, afin d'être entièrement maître des mouvements à imprimer au corps plongeur. Pour évaluer la force que doivent développer ces appareils, on a admis que la course devait durer 3 minutes, à savoir : 1/2 minute pour la mise en marche, 2 minutes pour accomplir le trajet et 1/2 minute pour freiner et pour arrêter le tambour.

Le déplacement du tambour, provoque celui de l'eau contenue dans le bassin ou réservoir (que nous décrirons ci-après) et dans les conduites de communication, et il faudra vaincre les résistances dues au frottement. Pour réaliser le travail nécessaire, deux moteurs de 30 chevaux, actionnant chacun une des hélices, seront largement suffisants.

Des appareils du système Roosen (voir Compte rendu du IX^e Congrès international de Navigation de 1902, page 519) sont prévus dans la cabine de service pour indiquer les niveaux d'eau; et dans les chambres de lestage : *a*) des indicateurs de la hauteur d'immersion du tambour dans le réservoir (indicateur de pression); *b*) des indicateurs du maintien de la position horizontale; *c*) des indicateurs de la position verticale; en outre, le tableau de distribution des différents moteurs et les installations téléphoniques, qui permettent de communiquer avec l'extérieur. L'électricité nécessaire est amenée par deux câbles comprenant chacun, une série de fils de cuivre, pour la propagation du courant moteur, l'alimentation des lampes et le fonctionnement du téléphone, et, un fil d'acier pour en augmenter la résistance. Ces câbles montent et descendent en même temps que l'appareil, en s'enroulant automatiquement à l'aide d'un

contrepoids sur un tambour de 4 mètres de diamètre, ou en se déroulant de ce tambour. Cette installation est montée dans deux cabines placées au-dessus du réservoir.

Il est nécessaire de guider les mouvements ascendant et descendant du tambour à bateau. En outre, ainsi qu'on le verra par la suite, il faut qu'une petite impulsion dans le sens horizontal puisse lui être communiquée au démarrage. On y arrive à l'aide d'un jeu de roulettes tangentielles et de roulettes montées dans l'axe du tambour.

Les deux extrémités de ce tambour sont munies de fermetures étanches; les joints d'abordage contre les parois du réservoir sont formés de bois de tilleul qui s'adaptent le mieux possible, afin d'éviter toute perte d'eau, lorsque l'on procède à l'ouverture des vantaux au droit du bief supérieur, ou au droit du bief inférieur, pour l'entrée et pour la sortie des bateaux.

Notons, pour finir la description, que nous nous proposons au début de compléter l'installation du tambour à bateau, en prévoyant une sorte de cheminée à escalier tournant communiquant en permanence avec l'extérieur; cette cheminée aurait servi à l'aérage et à l'installation des câbles électriques. Mais en recherchant le cube d'air dont il y a lieu de pourvoir une personne placée dans un espace fermé, nous avons trouvé que l'établissement de cette cheminée, dont le poids devrait d'ailleurs être élevé automatiquement avec le tambour pendant l'ascension, est inutile.

Le sas du tambour à bateau renferme à lui seul un volume de 2,800 mètres cubes d'air; il y a, en outre, des réserves d'air dans les chambres non lestées. Ce volume d'air peut suffire pendant plusieurs heures à tout le personnel, qui comprendra au maximum deux agents et la famille du batelier; il n'y a donc pas lieu de s'en préoccuper pour les 3 ou 4 minutes que doit durer chaque trajet.

On a étudié cette question à propos des sous-marins, et sa solution confirme notre manière de voir en ce qui concerne notre ascenseur.

Il y aurait lieu toutefois de veiller que les cheminées des bateaux à vapeur, qui passeraient par l'ascenseur, soient fermées durant le trajet.

2. *Le réservoir (ou bassin).*

Il est formé par un massif creux en béton armé, établi dans l'axe du canal; il mesure 96 mètres \times 40 mètres en plan. La cavité intérieure du massif est complètement remplie d'eau; elle est de forme parallélipipédique et mesure 74 m. 80 de longueur, 17 m. 60 de largeur et 51 m. 90 de hauteur; ses extrémités supérieure et inférieure sont arrondies et affectent une forme semi-cylindrique; c'est dans cette cavité que se déplace verticalement le tambour à

bateau. Ce tambour repose sur des sommiers en bois lorsqu'il occupe sa position inférieure ; il vient buter contre des pièces de bois fixées à la partie supérieure lorsqu'il arrive au haut de sa course. Pour permettre l'entrée et la sortie des bateaux, on a prévu dans les parties frontales du réservoir, c'est-à-dire à la partie supérieure de la tête amont et à la partie inférieure de la tête aval, des portes étanches à coulisses.

Les dimensions des portes d'amont sont telles, dans notre projet, que le tambour puisse sortir du réservoir, et, en outre, le bief supérieur est élargi et approfondi à l'amont du réservoir, de manière à pouvoir y garer le tambour. Notons que la nécessité de faire sortir le tambour et de l'amener dans le bief n'est pas indispensable, car toute l'ossature métallique peut être montée dès le début à l'intérieur même de la construction, et on peut aisément procéder à la visite de toutes les parties du tambour à la faveur d'un certain abaissement des eaux du réservoir. On pourrait donc réaliser une notable économie en renonçant à l'établissement de cette grande porte spéciale à l'amont, et en ne prévoyant pas d'élargissement ni d'approfondissement du bief pour une sortie de l'espèce.

Dans notre projet, la grande ouverture octogonale prévue à la tête d'amont a 21 mètres \times 16 m. 50 ; elle est fermée à l'aide d'une porte à ponton.

On ne pourrait pas prévoir à la partie inférieure de la tête aval une ouverture de la même importance, parce qu'on affaiblirait outre mesure les bases de la construction ; notons qu'elle y est inutile et que si l'on désirait visiter le tambour, lorsqu'il occupe sa position inférieure, on devrait recourir à une vidange complète des eaux du réservoir, ce qui présenterait de grands inconvénients. Pour le trafic journalier, on a réalisé dans la porte à ponton d'amont une ouverture de 9 mètres \times 7 m. 20, fermée à l'aide de vantaux semblables à ceux qui ferment les deux extrémités du tambour, et qui sont mus par des moteurs installés sur la plate-forme du réservoir. La tête aval présente une ouverture analogue ; elle est fermée à l'aide d'une porte à flotteur et à coulisses qui se déplace latéralement et que manœuvre un moteur placé dans une cabine spéciale A. On a recours à des cabestans électriques pour opérer la traction des bateaux à leur entrée et à leur sortie.

Toutes les parois du réservoir sont prévues en béton armé ; les épaisseurs sont calculées de façon à résister aux divers états de sollicitation qui peuvent se présenter, d'après les formules indiquées dans l'*Agenda de 1904 des Ingénieurs et Architectes autrichiens*, page 232.

On considère successivement le réservoir à vide et en eau. Les

dimensions de la cavité intérieure ont été réduites au stricte nécessaire. Afin de faciliter le déplacement du tambour à bateau dans la masse d'eau du réservoir, on a prévu dans les parois de ce dernier des canaux pour favoriser la circulation de l'eau. Ces canaux (E) débouchent en partie au fond du réservoir; on peut les utiliser pour le freinage lors de la descente du tambour, en procédant à la fermeture d'une vanne installée sur une conduite qui les relie entr'eux.

La communication entre les têtes d'amont et d'aval est assurée par des escaliers tournants renfermés dans des tourelles, qui servent de contreforts aux murs du réservoir. Une pompe rotative et son moteur, installés dans l'une des tours, sont destinés à pourvoir au remplissage de l'espace nuisible existant entre le tambour et la paroi de la porte à ponton; la même tour porte encore le réservoir à eau nécessaire à cet effet (la pompe doit élever 4 mètres cubes d'eau par minute à 7 mètres de hauteur, ce qui correspond à un travail de 15 chevaux-vapeur). Une deuxième pompe a encore été prévue, afin de pourvoir au remplissage du bassin au-dessus du niveau de flottaison du bief supérieur. (Cette pompe doit élever 6 mètres cubes d'eau par minute à 15 mètres de hauteur, ce qui correspond à un travail de 40 chevaux-vapeur.) Diverses dimensions ont été figurées sur les plans.

On a prévu la possibilité de la vidange du réservoir, quoique cette vidange ne soit nécessaire que dans des cas tout à fait exceptionnels, étant donné que le remplacement des diverses pièces mobiles peut être effectué sans devoir recourir à une vidange complète.

En temps de gelée, le tambour doit être maintenu dans sa position inférieure et mis en communication avec le bief d'aval. Les fortes épaisseurs des murs du réservoir préserveront ce dernier des atteintes de la gelée; l'eau s'y refroidirait très difficilement. Si le besoin s'en faisait sentir, on pourrait y faire déboucher de la vapeur d'eau, pour y augmenter la température.

On a admis pour le tambour une vitesse maxima de 0 m. 24 par seconde, avec une accélération de 0 m. 008 par seconde au début.

Dans ces conditions, la vitesse de l'eau atteindra 0 m. 54 par seconde dans les canaux de circulation.

La répartition uniforme des canaux et l'action des hélices assureront le maintien de l'horizontalité du tambour.

Pour faire sortir le tambour dans la partie élargie et approfondie du bief supérieur, la porte à ponton peut être rabattue vers l'intérieur, après avoir abaissé les eaux du réservoir au niveau de flottaison de ce bief. (Voir planche II.) On peut, en outre, à l'aide du remplissage de certaines chambres de lestage et de la vidange d'autres parties,

faire tourner le tambour autour de son axe, et le visiter dans toutes ses parties.

Dans la porte, qui a 4 m. 50 d'épaisseur, se trouve ménagée l'ouverture imposée par les besoins journaliers de la navigation; elle est fermée à l'aide de deux vantaux à coulisses, qui se déplacent respectivement vers le haut et vers le bas, à l'intérieur même de la porte. Ces vantaux s'adaptent le mieux possible à la conformation du tambour, afin de limiter les pertes d'eau au strict minimum. Le moteur de 20 chevaux qui actionne les vantaux est installé à la partie supérieure du réservoir; ses connexions avec les câbles des vantaux peuvent être embrayées et déembrayées à volonté. Le pourtour des joints de la porte à ponton doit être rarement visité; il est formé de sommiers en bois.

La porte à coulisses de la tête aval du réservoir (F) est flottante; elle se déplace latéralement dans une chambre aménagée à cet effet, et est actionnée par treuil. L'eau, dans la chambre, se maintiendra toujours au niveau de la flottaison du bief inférieur.

La visite des joints de raccordement de la tête aval, auxquels doit s'adapter le tambour, ne nécessite pas la vidange du réservoir; elle peut se faire en appliquant le mieux possible contre la paroi de ce réservoir une fosse à plongeur amovible et ouverte dans le haut.

Une pompe de 25 chevaux est installée à la tête aval, pour élever 8 mètres cubes d'eau par minute à 7 mètres de hauteur, dans un réservoir I, destiné à alimenter l'espace nuisible compris entre la porte à coulisses et le tambour.

Aménagement du canal et des ouvrages d'art.

Le profil en travers du canal présente une largeur au plafond de 15 m. 60, des talus à 8/4, et des bermes de 0 m. 50. Les talus sont revêtus d'une maçonnerie en pierre brute, et consolidés par un pilotis. La largeur du canal est majorée à l'amont et à l'aval de l'ouvrage, en vue du garage des bateaux; la partie élargie d'amont comporte un mouillage correspondant au tirant d'eau du tambour et de la porte à ponton. Ces parties élargies ont 100 mètres de longueur. Le fond de la cunette est revêtu, de part et d'autre de l'ascenseur, de dalles en béton armé.

Le remblai voisin du lieu de garage du tambour est protégé à l'aide d'une paroi en béton armé, établie d'après un système américain, en vue de prévenir tout danger de filtration et de glissement.

Pour toute sécurité, en cas d'accidents, on a prévu l'isolement du bief supérieur, à l'aide d'une porte de garde, dont les panneaux peuvent tourner autour d'axes horizontaux; on se sert d'air com-

primé pour leur mise en place, et c'est grâce à la pression hydraulique que la porte peut s'appliquer contre les joints étanches du pourtour.

La grande porte à ponton de la tête d'amont est protégée contre les abordages à l'aide de sommiers et de deux pontons flottants, qui servent en même temps de passerelle et de garde-corps.

Dispositions générales.

L'emplacement de l'ascenseur doit être choisi de telle façon que les fondations de l'ouvrage puissent être établies en toute sécurité, et que les déblais puissent être utilisés aux remblais. L'installation des bâtiments de service sera complétée par une usine électrique. 100 ampères à 220 volts de tension suffiront pour assurer l'éclairage complet de l'ascenseur et celui de ses environs. La force motrice nécessaire a été évaluée à 50 chevaux; on y pourvoira en tout temps à l'aide d'un moteur électrique. Si l'on admet une tension normale de 220 volts pour les besoins de l'exploitation, il faudra en tout 270 ampères.

Nous adopterons une dynamo de 310 ampères, construite pour une tension de 240 volts (75 kilowatts) et actionnée par une machine à vapeur de 125 chevaux faisant 150 tours par minute; la machine sera à un cylindre, à condensation, et ira jusqu'à 250 degrés de surchauffe. Nous utiliserons, en outre, un accumulateur à 100 cuves, pouvant fournir 300 ampères par heure; la dynamo doit donc pouvoir élever la tension à 320 volts. Au surplus, il y aura lieu d'installer un compresseur dans le bâtiment des machines, capable de fournir de l'air comprimé pour alimenter la soupape pneumatique du réservoir, le tambour et la porte de garde. La vapeur sera fournie par une chaudière Cornwall de 70 mètres carrés de surface de chauffe, pouvant produire 900 kilos de vapeur par heure; il y aura, en outre, une chaudière de réserve. La pression admise est de 8 kilos par centimètre carré. L'eau d'alimentation sera empruntée au bassin.

Exploitation.

Admettons qu'il y ait lieu de faire monter un bateau venant du bief inférieur; le tambour occupant sa position inférieure, on ouvre la porte à coulisses, puis les vantaux. On fait entrer le bateau, en se servant du cabestan électrique B, commandé de la cabine des pompes A, qui est desservie par un aide-mécanicien. On ferme ensuite les vantaux, et on met en mouvement le moteur qui fermera la porte à coulisses F. en 30 secondes. On ouvre ensuite la vanne du résér-

voir J, établie dans le mur de l'ouvrage, et l'on pourvoit ainsi au remplissage de l'espace nuisible compris entre le tambour et la porte à coulisses F; cette opération dure une minute; la fin en est annoncée automatiquement dans la cabine des pompes A. On met alors en mouvement le moteur qui actionne la vanne cylindrique R, afin de faire circuler l'eau dans les canaux E et K, et de l'amener sous le tambour.

Le chef de la cabine de service procède alors à la mise en marche des hélices horizontales, dont l'action verticale fait monter le tambour, qui, 3 minutes plus tard, viendra occuper sa position supérieure. Nous admettrons que la durée de l'ouverture de la vanne R et des autres opérations accessoires soit d'une demi-minute. Pendant l'ascension, les pompes centrifuges doivent entrer en action, s'il y a lieu, pour que le mouillage du sas soit ramené à celui du bief supérieur, et que les niveaux de flottaison coïncident, lorsque le tambour arrivera au haut de sa course. Le mécanicien du tambour téléphone alors à un aide, qui occupe la cabine des pompes A de la tête amont de l'ouvrage, qu'il y a lieu de laisser écouler, vers le bief supérieur, l'eau comprise entre les vantaux du tambour et la porte à ponton, ce qui s'effectue à l'aide de la conduite H, et cette opération dure une minute. L'agent posté en A procède ensuite à l'ouverture du passage de la porte à ponton, ce qui prend 30 secondes. Il fait part au mécanicien, installé dans le tambour, de la fin de cette opération, et celui-ci procède alors à l'ouverture des vantaux d'amont du tambour, ce qui demande également 30 secondes, et finalement le bateau peut sortir. On voit que les vantaux du tambour et le passage de la porte à ponton ne se trouvent pas sous forte pression, lorsqu'on doit opérer leur ouverture.

Pour toute sécurité, on a soin de ne pas arrêter complètement le mouvement des hélices, lorsque le tambour arrive au haut de sa course; on modère toutefois leur action, de manière à soutenir, en quelque sorte, le tambour et à le presser de bas en haut contre les sommiers de butée établis à la partie supérieure.

La sortie du bateau s'opère, comme pour l'entrée, par la mise en mouvement d'un cabestan électrique; cette opération exige 5 minutes.

Pendant ce laps de temps, et pendant 5 nouvelles minutes, c'est-à-dire pendant le temps mis par un bateau qui doit descendre, pour entrer dans le tambour, l'aide-mécanicien en A doit pourvoir, en mettant en mouvement une pompe centrifuge horizontale, au remplissage d'un réservoir de 60 mètres cubes, installé dans la tour. L'eau est prise au bief supérieur; le volume d'eau nécessaire est de 40 mètres cubes, qu'il faut élever, en moyenne, à 6 mètres de hauteur; ce volume est suffisant pour remplir l'espace nuisible compris entre la

porte à ponton et les vantaux de fermeture du tambour. La pompe centrifuge en A ne doit donc élever, au maximum, que 4 mètres cubes par minute, pour alimenter ce réservoir supérieur.

Après l'entrée du bateau dans le tambour, la fermeture des deux portes d'amont peut s'opérer en même temps; il faut, à cet effet, 30 secondes.

Il est superflu de décrire les manœuvres ultérieures, qui sont inverses de celles décrites ci-dessus. Il faudrait donc en tout 35 minutes. Pour effectuer 60 opérations de ce genre, c'est-à-dire 30 dans chaque sens, il faudrait donc au maximum 30×35 minutes, soit 17 1/2 heures ou 18 heures, en chiffre rond; ce résultat, au sujet de la faculté de rendement de l'ouvrage, est des plus favorable.

Le personnel de service nécessaire est le suivant : Si la durée de l'exploitation est de 12 heures, il faut un chef conducteur, un chef mécanicien dans la salle des machines, deux mécaniciens pour le tambour, un chauffeur dans la salle des chaudières, un aide à la tête amont, et un à la tête aval de l'ascenseur, soit 7 personnes en tout;

Si l'exploitation se poursuit pendant 24 heures, il faut un chef conducteur, un chef mécanicien, quatre mécaniciens (occupés soit dans le tambour, soit dans la salle des machines), deux chauffeurs dans la salle des chaudières, et quatre aides, soit 12 personnes en tout.

Il ressort de la description qui précède, que si l'on excepte la minime quantité d'eau qui peut suinter par les joints, il n'y a aucune perte d'eau pour le bief supérieur.

L'exploitation de l'ascenseur peut être poursuivie sans interruption pendant toute la durée de l'année, de la façon mentionnée ci-dessus, en tant que les conditions atmosphériques extérieures n'empêchent le trafic sur le canal.

Coût des installations et frais d'exploitation.

Les frais de construction du tambour, du réservoir, de l'usine, des bâtiments de service, et de 300 mètres de longueur de canal à l'amont et à l'aval, s'élèveraient (y compris l'acquisition des terrains) à 1,176,600 couronnes pour le tambour à bateau, 3,265,280 couronnes pour le réservoir, 132,600 couronnes pour l'usine électrique, et 415,000 couronnes pour le canal, soit 4,990,000 couronnes, ou 5,240,000 francs, ou encore 4,241,500 marks en tout.

Les frais d'administration, d'exploitation et d'entretien peuvent être évalués conformément aux indications données par M. Prüssman, inspecteur de travaux hydrauliques, dans un mémoire publié en 1899 et relatif au projet de canal de l'Elbe au Rhin, comme suit : α) à 0.4 % du montant des travaux de construction et des installations acces-

soires; *b*) à 5 % des frais d'établissement des pompes, chaudières et machines; *c*) à 100 % des frais d'administration et de force motrice mise en œuvre.

On en déduit les frais annuels suivants :

1° D'après lit. *a*) 0.4 % de 4,466,620 couronnes ou 17,866.40 c.

2° D'après lit. *b*) 5 % de 158,200 couronnes ou 7,910 couronnes.

3° D'après lit. *c*) :

A. Si l'exploitation journalière est de 12 heures, on doit recourir à un personnel composé de 7 agents, ce qui donne 8,000 couronnes comme frais d'administration; ce montant est de 12,500 couronnes dans le cas où l'exploitation est de 24 heures, et où le personnel est de 12 agents.

B. En ce qui concerne la force motrice, on trouve que les frais sont ceux mentionnés ci-dessous, si l'on admet qu'il y ait 270 jours ouvrables par an, comme le fait M. Sympher, dans son mémoire *Sur l'importance économique du canal de l'Elbe au Rhin*, publié en 1899.

Pour l'exploitation de 12 heures :

La force motrice dépensée est de $35 \times 12 \times 270$ kilowatt-heures;

Il faut, en outre, pour l'éclairage $20 \times 12 \times 270$ „

$$\text{ou } \underline{55 \times 12 \times 270} = 178,200 \text{ kilow.-h.}$$

Soit en chiffres ronds 180,000 kilowatt-heures.

Si l'exploitation est de 24 heures :

La force motrice dépensée est de $35 \times 24 \times 270$ kilowatt-heures;

Et pour l'éclairage de $40 \times 24 \times 270$ „

$$\text{ou } \underline{75 \times 24 \times 270} = 486,000 \text{ kilow.-h.}$$

Soit en chiffres ronds 490,000 kilowatt-heures.

Les régions houillères étant supposées situées à proximité de l'ouvrage, et l'énergie électrique devant être produite sur place, on peut admettre que les frais s'élèveraient à 6 heller par kilowatt-heures, ce qui donne respectivement des totaux de 10,800 couronnes et de 29,400 couronnes pour les deux durées de service considérées. Par suite, les frais d'administration et de production de force motrice s'élèvent en tout par an à 18,800 ou à 41,900 couronnes, suivant que l'exploitation est de 12 heures ou de 24 heures. Le montant total des groupes *a*, *b* et *c*, est de 44,576.40 c. dans le premier cas, ou de 45,000 couronnes en chiffres ronds; il s'élève à 67,676.40 c. ou au chiffre global de 68,000 couronnes dans le second cas.

En comptant, comme on le fait généralement en Allemagne, pour les travaux hydrauliques, sur un intérêt de 3 %, et sur un amortissement de 1/2 % par an du capital engagé (notons à ce sujet, que la plupart des auteurs de projets d'ascenseurs et de plans inclinés destinés,

aux voies navigables d'Autriche ont omis de tenir compte de l'amortissement nécessaire), on arrive pour la première année à :

149,000	couronnes pour les intérêts et
<u>24,950</u>	pour l'amortissement.

Au total 174,650 couronnes.

Le tableau ci-dessous résume les résultats trouvés ci-dessus.

A. Pour les frais d'administration, d'exploitation et d'entretien :

a) Durée du service 12 heures	45,000 c.
b) " " 24 heures.	68,600 c.

B. Amortissement du capital et intérêts .	174,650 c.	174,650 c.
---	------------	------------

Total par an. . . .	219,650 c.	242,650 c.
---------------------	------------	------------

Symphér admet (voir son mémoire sur *L'importance économique du canal de l'Elbe au Rhin*) qu'il n'y a que la moitié des bateaux en service qui portent une charge de 500 tonnes de marchandises, et que l'autre moitié ne porte que 100 tonnes, ce qui donne une charge moyenne de 300 tonnes par bateau. Schoenbach adopte 360 tonnes en moyenne (voir le compte rendu du IX^e Congrès international de navigation de 1902), et Moravek (voir *Oesterr. Wochenschrift f. d. off. Baudienst*, 1903) tient compte dans ses projets, pour le trafic de bateaux de 600 tonnes, d'un coefficient de chargement de 80 %, et de fret de 60 %.

Nous admettrons pour des bateaux de 600 tonnes, un chargement moyen de $\frac{600 \times 120}{2} = 360$ tonnes, ce qui conduit à un *trafic annuel total* de $40 \times 360 \times 270 = 3,880,000$ tonnes ou 3.5 millions de tonnes en chiffres ronds, pour une exploitation journalière de 12 heures, et à $80 \times 360 \times 270 = 7,776,000$ tonnes ou 7 millions de tonnes en chiffres ronds, si le service est de 24 heures.

Les frais par tonne et par mètre d'élévation peuvent être évalués comme suit :

a) Si la durée du service est de 12 heures :

1° Frais d'entretien et d'exploitation	0.036 heller.
2° Amortissement et intérêts	0.140 "
Total	<u>0.170 heller.</u>

b) Si l'exploitation dure 24 heures :

1° Pour frais d'entretien et d'exploitation .	0.027 heller.
2° Amortissement et intérêts	0.069 "
Total	<u>0.096 heller.</u>

Après amortissement du capital, ces frais se réduiraient respectivement à 0.036 et 0.027 heller (1 couronne = 100 heller = 1.05 franc = 0.85 Mark).

Considérations finales.

On peut objecter que le diamètre du tambour est considérable, que les épaisseurs des tôles dépassent les dimensions usuelles, et que l'épaisseur des murs du réservoir est exagérée. Nous avons fait choix de fortes dimensions, afin de répondre à toutes les exigences du problème. C'est pour cette raison encore, que nous avons prévu une porte-ponton au droit de la tête d'amont, quoique les prévisions d'une porte ordinaire à coulisses pourraient suffire, puisque pour avoir accès à toutes les parties du tambour et procéder à son repeinturage, sans devoir sortir le tambour et le faire passer dans le bief supérieur, on pourrait abaisser dans une certaine mesure les eaux à l'intérieur du réservoir et y procéder aux travaux d'entretien, après avoir suspendu au besoin le tambour, ou encore après lui avoir donné à sa partie inférieure les points d'appui nécessaires. Pour en rendre la visite plus facile, on pourrait, dans ce cas, prévoir des portes et des accès supplémentaires dans les parois du réservoir. En outre, l'élargissement du bief prévu en vue de la sortie du tambour, deviendrait inutile et on réaliserait de ce chef une économie de 60,000 couronnes environ.

Tous les inconvénients auxquels donne lieu l'établissement d'écluses et celui de plans inclinés sont évités dans notre projet d'ascenseur, qui, sous ce rapport, doit être considéré comme des plus avantageux.

Nous signalerons spécialement les avantages suivants :

1° Les frais d'entretien sont peu élevés, ils se réduisent au repeinturage des parties métalliques, en tant que ces parties métalliques aient à subir les influences atmosphériques ;

2° Le nombre des pièces mécaniques, dont la rupture peut entraîner une interruption de l'exploitation, est très restreint ;

3° Les fondations ne doivent pas être descendues à de grandes profondeurs ; leur établissement ne comprend pas de fonçage de puits ; elles peuvent être exécutées sans difficultés, et en outre toute la partie inférieure sera dès le début des travaux pour ainsi dire fermée des quatre côtés, ce qui permet de procéder facilement et à sec au montage des installations ultérieures ;

4° Il n'y a pas manque de précision en ce qui concerne l'importance des coefficients de résistance au frottement ;

5° En fait de perte d'eau, il n'y a qu'une quantité insignifiante, qui peut filtrer par les joints ; l'eau qui sert à remplir l'espace nuisible compris entre le tambour et les portes extérieures retourne au bief respectif auquel on l'a empruntée ; il n'y a donc pas d'eau qui passe de l'amont à l'aval ;

6° Il n'y a pas à mettre en œuvre des pièces mécaniques ou autres d'une construction difficile, dont l'exécution puisse exiger des ouvriers spéciaux; on peut donc faire appel à une concurrence illimitée pour l'installation de l'ouvrage et ne pas se borner à une adjudication restreinte entre quelques maisons mieux outillées que les autres;

7° On ne doit pas recourir pour l'exécution des travaux à des techniciens et ouvriers étrangers, l'industrie nationale peut fournir tout le matériel nécessaire;

8° En ce qui concerne le bief inférieur, les parties mobiles se réduisent à la porte à coulisses dont la plus grande profondeur est de 3 mètres et qui peut aisément être mise à sec quand le tambour occupe sa position inférieure;

9° La masse mouvante effectue sa course sans être soumise à des chocs et à des oscillations; le mouvement est régulier et ne présente aucun danger;

10° L'installation ne comprend pas de pièces difficiles à remplacer, tels que câbles, tiges filetées, et lourds rails à crémaillère, dont l'établissement exige des ancrages puissants;

11° L'exploitation est simple et ne demande pas un personnel longuement expérimenté;

12° L'ascenseur n'a pas à souffrir des effets du vent et de la neige;

13° La gelée et de fortes variations de température sont impuissantes à déranger ou à arrêter le fonctionnement de l'ascenseur;

14° La faculté de rendement de l'ouvrage est supérieure au taux qui avait été fixé pour le concours autrichien, et dépasse celui des divers ascenseurs par plans inclinés projetés jusqu'ici;

15° Les frais d'établissement de l'ouvrage sont moins élevés que ceux de tout autre système;

16° Les frais d'exploitation sont minimes;

17° Le poids des bateaux à transporter peut atteindre tout taux désirable, pourvu que la capacité soit proportionnée aux dimensions du sas du tambour;

18° Le système que nous préconisons, peut être appliqué pour des chutes plus grandes que 50 mètres et présente une grande faculté de rendement, qui peut être encore majorée en installant dans le réservoir un second tambour. Dans ce dernier cas, il y aurait lieu d'augmenter certaines dimensions à l'intérieur du réservoir, sans majorer l'épaisseur des murs. Les deux tambours peuvent être reliés entre eux, de manière à réduire la force motrice au minimum.

Nous pensons toutefois qu'il y a lieu, en ce qui concerne la hauteur pratique maxima admissible, de s'arrêter au chiffre de 50 mètres.

Pour racheter de plus grandes hauteurs de chute et atteindre jusque

100 mètres, il conviendrait d'adopter une installation double et étagée.

Les dispositions conserveraient la même simplicité dans leur ensemble, et seraient analogues à celles de deux écluses étagées, sans toutefois entraîner de perte d'eau.

Nous avons la conviction que le projet d'ascenseur que nous préconisons remplit les conditions suivantes dans ses grandes lignes, ainsi que dans tous ses détails :

a) *Au point de vue théorique, il est simple et facile à projeter ;*

b) *Au point de vue pratique, il est d'une application aisée, et présente, en ce qui concerne l'exploitation, un grand degré de sécurité ;*

c) *Son établissement est peu coûteux et avantageux.*

WOUTER COOL

JONKHEER C. E. W. VAN PANHUYS.

ASSOCIATION INTERNATIONALE PERMANENTE

DES

CONGRÈS DE NAVIGATION

X^e CONGRÈS - MILAN - 1905

I. Section : Navigation Intérieure

3. Question

RAPPORT

PAR

WOUTER COOL C. I.

et

JONKHEER C. E. W. van PANHUYS, C. I.

PLANCHE I.

ASSOCIATION INTERNATIONALE PERMANENTE

CONGRÈS DE NAVIGATION

X^e CONGRÈS - MILAN - 1903

I. Section Navigation Intérieure

A. Question

RAPPORT

WOUTER COOL C. I.

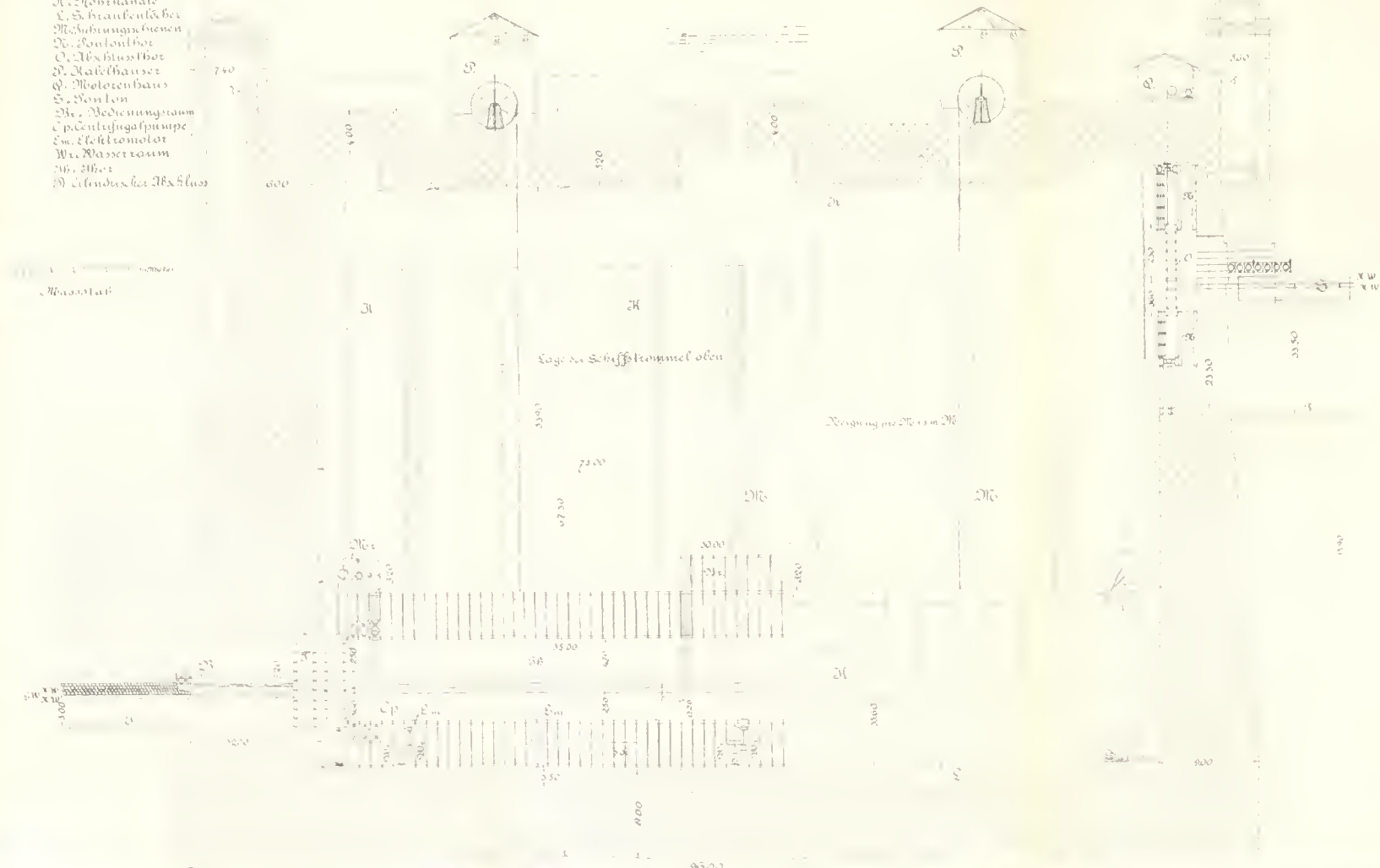
et

JONKHEER C. E. W. van PANHUYS, C. I.

PLANCHE I

PROJECT
FÜR EIN SCHIFFSHEBEWERK.

A. Elektrische Spille
B. Schiebelhor
C. Schiebanale
D. Schraubenlöcher
E. Schraubenbohren
F. Schraubenbohr
G. Schraubenbohr
H. Schraubenbohr
I. Schraubenbohr
J. Schraubenbohr
K. Schraubenbohr
L. Schraubenbohr
M. Schraubenbohr
N. Schraubenbohr
O. Schraubenbohr
P. Schraubenbohr
Q. Schraubenbohr
R. Schraubenbohr
S. Schraubenbohr
T. Schraubenbohr
U. Schraubenbohr
V. Schraubenbohr
W. Schraubenbohr
X. Schraubenbohr
Y. Schraubenbohr
Z. Schraubenbohr



LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

ASSOCIATION INTERNATIONALE PERMANENTE

DES

CONGRÈS DE NAVIGATION

X^e CONGRÈS - MILAN - 1905

I. Section : Navigation Intérieure

3. Question

RAPPORT

PAR

WOUTER COOL C. I.

et

JONKHEER C. E. W. van PANHUYS, C. I.

PLANCHE II.

CONGRÈS DE NAVIGATION

X^e CONGRÈS - MILAN - 1903

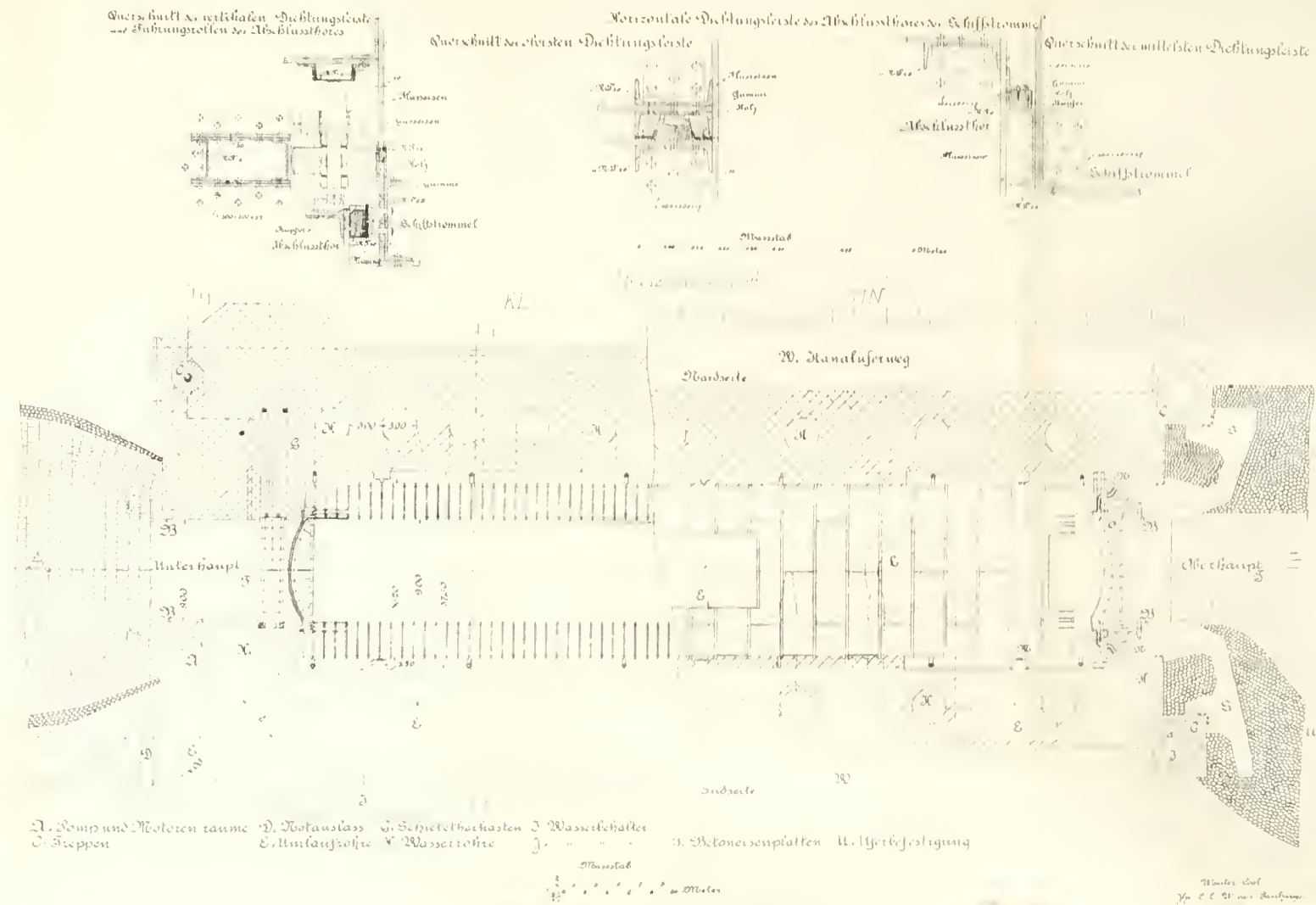
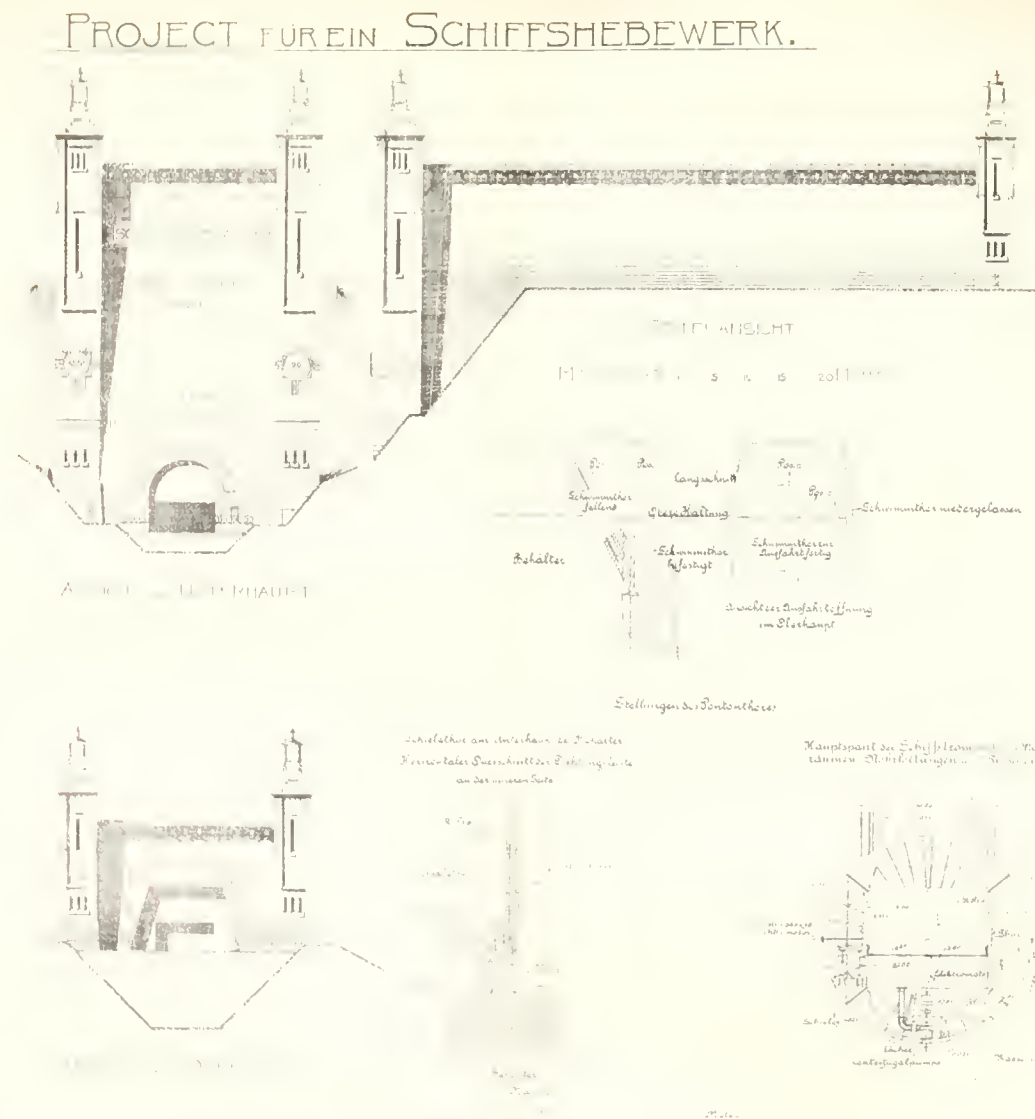
3 Question

RAPPORT

WOUTER COOL C. I.

JONKHEER C. E. W. VAN PANHUYS, C. I.

Printed by



627.06
INR
1905

ASSOCIATION INTERNATIONALE PERMANENTE
DES
CONGRÈS DE NAVIGATION

X^e CONGRÈS - MILAN - 1905

I. Section : Navigation Intérieure
4. Question

DÉVELOPPEMENT

DE LA

Navigation intérieure au moyen de bateaux à petit tirant d'eau

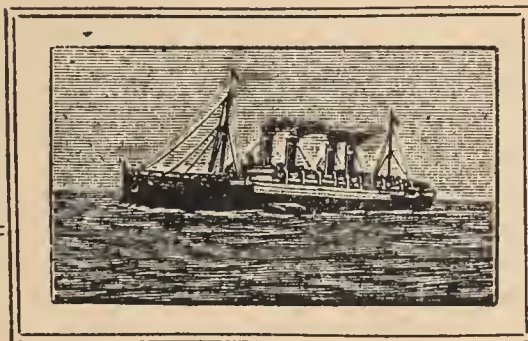
MODE DE CONSTRUCTION ET MOTEURS

RAPPORT GÉNÉRAL

PAR

M. FUMANTI

Officier du Génie Naval de la Marine



NAVIGARE

NECESSE

BRUXELLES
IMPRIMERIE DES TRAVAUX PUBLICS (SOCIÉTÉ ANONYME)
18, Rue des Trois-Têtes, 18

1905

Développement de la navigation intérieure au moyen des bateaux à petit tirant d'eau. Mode de construction et moteurs.

RAPPORT GÉNÉRAL

PAR

M. J. FUMANTI

Capitaine du Génie Naval. Chantier royal de Castellammare di Stabia

Deux rapports ont été présentés, le premier par M. *Albert Wahl*, ingénieur en chef de la Marine, détaché au Ministère des Colonies, le second par M. *Richard Blümcke*, directeur de la « Société de Construction des Navires et des Machines » à Mannheim.

Nous examinerons particulièrement les deux rapports.

1° Dans son mémoire, Albert Wahl commence par examiner les types des bateaux appropriés pour l'exploitation des voies navigables à faible mouillage.

De même que dans son premier rapport de l'an 1900, il conclut que l'hélice sous voûte présente la meilleure solution de la navigation dans les fleuves ou rivières à étiage réduit. L'addition d'un volet proposé par M. Yarrow dans un rapport présenté au Congrès des « Naval Architects » en 1903, et dont M. Wahl réclame la priorité à M. Labat en France, améliore le fonctionnement, car il facilite le remplissage de la voûte au départ sous l'action de l'hélice.

On doit à M. Yarrow des expériences très intéressantes sur ce type appliqué aux remorqueurs, et qui furent rapportées dans le Congrès de 1903.

Ces études se poursuivent actuellement dans le but de perfectionner les dispositifs employés par M. Yarrow, et l'application des hélices multiples montées sur le même arbre constituera certainement un pas en avant. Des expériences des hélices multiples ont été entreprises en Italie sur un canot à vapeur de 17 mètres par M. Rota, directeur des Constructions Navales du Chantier Royal de Castellammare di Stabia.

M. Wahl a présenté un tableau très intéressant sur les résultats obtenus aux essais des bateaux avec hélice sous voûte.

Moteurs.

M. Wahl observe que toute espèce de moteur est compatible avec les hélices sous voûte ; il passe en revue les divers types à vapeur et à explosion.

Les moteurs à vapeur ont été étudiés soigneusement pour obtenir un bon rendement économique ; toutefois malgré les perfectionnements et les dispositifs adoptés, ils sont lourds ; car leur poids est compris entre 60 et 100 kilogrammes pour cheval, qui, en considérant le poids de charbon pour 10 heures de marche, monte à $70 \div 111$ kilos pour cheval.

M. Wahl fait connaître un dispositif spécial adopté sur le « Guan-Ki » par M. Doyère, ingénieur en chef de la Marine, dispositif qui dérive de quelque installation spéciale employée à terre, sur les moteurs pour laminoirs, par l'indicateur Root, etc. Une machine unique actionne les deux hélices, chaque piston commande deux bielles symétriques, dont les pieds sont articulés sur le même travers. La machine à triple expansion a une puissance de 160 chevaux, avec une allure de 300 tours ; malgré l'emploi d'une seule machine et de chaudières aquatubulaires, le poids pour cheval atteint le chiffre de 62.5 kilogrammes.

Dans une autre tentative sur le « Leon Bureau », on a essayé l'application d'un moteur à allure très rapide — 900 tours — avec chaudière Du Temple, timbrée à 25 kilos ; le poids total atteint 46 kilos pour cheval, et, en considérant le poids de combustible pour dix heures, 55 kilos pour cheval.

L'application est pourtant intéressante, mais, comme observe justement M. Wahl, des machines à une telle allure et des chaudières à pression si élevée exigent l'emploi d'un personnel mécanicien soigneux ; elles ne sont pas compatibles avec une exploitation commerciale.

Sur l'application des *turbines à vapeur* on doit observer que la grande vitesse (3 à 4,000 tours) rend difficile l'application sur de petits navires. Il faut interposer un jeu d'engrenages pour réduire la vitesse au moins à mille tours ; toutefois, on doit étudier soigneusement l'hélice, pour éviter les phénomènes de cavitation. On pourra recourir à l'application des hélices multiples, mais, d'un autre côté, la grande vitesse de rotation rend les petits navires peu capables au remorquage.

Les avantages de la turbine consisteraient dans la facilité de conduite et dans l'économie de poids; il serait très désirable qu'une application avec hélices multiples fût tentée sur un bateau à faible tirant d'eau.

Moteur à explosion

Dans la navigation de plaisance, l'application des moteurs à explosion à essence a été faite avec les résultats les plus brillants; mais pour la marine marchande, malgré les nombreuses applications, on n'a pas trouvé le type approprié.

Dans une exploitation commerciale, le moteur doit satisfaire aux qualités suivantes : *allure constante, simplicité et facilité de manœuvre, sûreté de fonctionnement, économie d'exercice.*

Dans les moteurs des bateaux de plaisance — où le personnel est de premier choix, et pour la spécialité du service — on a pu réduire les dimensions de la machine au *minimum* possible, atteignant un poids de 14 kilogrammes pour cheval; mais dans les applications commerciales, on doit avoir un moteur robuste, de fonctionnement sûr avec personnel ordinaire. Il y a ainsi une grande différence entre le poids des moteurs de plaisance et de commerce, comme, par exemple, un moteur à essence de dix chevaux atteint 60 kilos pour cheval dans un bateau de commerce.

L'essence constitue un danger grave pour son inflammabilité et la nécessité des précautions à prendre; au point de vue économique, les moteurs à essence sont très chers car on doit compter sur une consommation moyenne de litre 0.400 pour cheval-heure.

On a appliqué les moteurs à pétrole, mais le poids est bien plus élevé; on peut compter sur un poids de 100 kilos par cheval.

Pour le pétrole, ainsi que pour l'essence, existe une grande difficulté pour la carburation; de plus le pétrole encrasse les cylindres.

M. Wahl croit que l'application d'un moteur travaillant pour explosion et pour combustion pourra donner de bons résultats en évitant l'encrassement des cylindres et pouvant utiliser les huiles lourdes à bas prix. M. Wahl donne des renseignements sur un moteur de ce type en étude; le moteur a une puissance de 14 chevaux effectifs avec 400 tours et une consommation prévue de 0.500 k. pour cheval-heure. Le poids par cheval surpasse 100 kilos, mais on doit espérer une amélioration pour des moteurs plus puissants.

Nous devons ajouter à ce sujet, que les moteurs à pétrole et à essence ont eu de nombreuses applications sur les bateaux de pêche,

surtout en Angleterre, en Amérique, en Norvège, soit pour la propulsion, soit pour les opérations de virage des filets. On comprend pour un bateau de pêche l'avantage de l'abolition de la chaudière et l'importance d'effectuer mécaniquement toutes les manœuvres ; on a par là une amélioration très sensible dans le rendement.

En France, on a tenté l'application ; nous trouvons dans « Le Yacht » (7 février 1903) des renseignements sur deux bateaux « Va-d' l'avant » et « Jean », dont les moteurs sont à pétrole.

Les données des deux bateaux sont :

	Va-d' l'avant	Jean
	—	—
Longueur totale. m.	19.60	36
Longueur à la flottaison »	16.05	32.40
Largeur hors bordé »	6.13	8.16
Tirant d'eau arrière »	3.10	4.35
Jauge Tonnes.	50	228

Le moteur, type Dau, de Va-d' l'avant, a été fourni par la maison Jørgensen de Copenhague : puissance 22 chevaux, hélice réversible, consommation d'un demi litre de pétrole brut (fr. 0.27 au litre). Le moteur peut aussi actionner le cabestan.

Le « Jean » a deux moteurs : un grand moteur de la puissance de 200 chevaux, 300 tours, poids total 20000 kilogrammes, consommation 350 grammes par cheval, qui actionne l'hélice et donne une vitesse de 8 nœuds ; un petit moteur de 40 chevaux, 300 tours, poids total 5000 kilogrammes, qui actionne le cabestan.

Traction mécanique sur les canaux.

Dans son rapport, M. Wahl examine aussi la question de la traction mécanique sur les canaux.

M. Wahl observe que le remorquage est difficilement praticable par suite de l'étroitesse de la section, et des détériorations qu'un remorqueur produit sur les berges et sur le fond ; de plus les écluses à traverser imposent le fractionnement des trains de péniches.

M. Wahl écrit que la solution de la question sera la péniche automobile ; mais la difficulté à résoudre sera celle d'utiliser le même moteur quel que soit l'état de chargement de la péniche. A ce sujet,

M. Fernex a imaginé un moteur constitué par une locomobile installée sur une plate-forme mobile verticalement; sur les péniches construites par MM. Desbois, Raucelat et Ollivaut on a adopté deux hélices : une plus grande pour les conditions normales de pleine charge et l'autre plus petite qui est complètement immergée lorsque la péniche est lège ; sur le chaland étudié par M. Guilloux, il y a une seule hélice qui, à péniche lège, reste suffisamment immergée par l'emploi d'un water-ballast.

M. Wahl ne donne aucun chiffre de comparaison entre la traction animale et la traction mécanique, et fait des vœux afin que le système soit développé en recueillant les données pratiques aussi complètes que possible pour décider sur les résultats économiques.

2° Dans son rapport M. Richard Blümcke fait une très soignée histoire du développement de la navigation fluviale.

Il relate les premières tentatives de Papin sur la Fulda en 1707 pour en arriver au bateau Fulton (1809) qui fit ses épreuves sur la Seine et qui indique le commencement de la navigation à vapeur. M. Blümcke suit tous les progrès successifs pour venir aux machines compound (inventées par Roetgen) combinées avec le condensateur à surface (Hall) et aux machines à triple expansion qui furent adoptées vers 1890.

Dans son rapport, M. Blümcke donne la statistique sur les bateaux de navigation intérieure en Prusse dès l'année 1837 aujourd'hui, et nous apprenons que dans l'an 1904 il y avait 1827 bateaux munis de 2034 machines avec 218 850 chevaux de puissance.

Dans un chapitre intitulé « Chaland », M. Blümcke donne des renseignements très intéressants sur les types de chalands en usage sur les fleuves allemands (Oder, Vistule, Weser, Elbe, Rhin). Dans la figure 1 de la planche 1 est reporté le dessin d'un chaland de l'Elbe construit en 1901 par les chantiers « Kette », dont les dimensions sont :

Longueur de l'étrave à l'étambot	m.	78.30
Largeur maxima au fond du bateau		11.55
Hauteur minimum du bordage		2.00
Tirant d'eau à vide.		0.405
Capacité de transport pour un tirant d'eau de 1.80 m	Tonn.	1,057

Bateaux à vapeur.

M. Blümcke considère d'abord les vapeurs qui circulent librement sans l'aide des remorqueurs et sans remorquer eux-mêmes. Sur ce sujet, il donne des renseignements sur les grands bateaux à roues latérales, à roues à l'arrière. Dans les colonies transocéaniques on a appliqué nombreux vapeurs avec roues à l'arrière ; et il donne le dessin et les dimensions d'un bateau de ce type destiné au Cameron.

M. Blümcke observe qu'un tirant d'eau de 600 ^m/_m et une puissance de machine de 20 à 30 HP constituent les limites pour un bateau à simple hélice ; diversement il faut recourir aux hélices jumelles et aux hélices en « tunnel ».

Ensuite, il s'occupe des remorqueurs, du type de machine et de propulseur aptes à développer la puissance nécessaire.

Dans ses considérations, M. Blümcke croit que pour le calcul exact il faut envisager le frottement indispensable entre l'eau et le bateau, en comparant la question du remorquage au trainage des locomotives ; il observe qu'un torpilleur avec des machines puissantes et une vitesse étonnante ne peut être un bon remorqueur. Nous croyons que la question n'a pas été bien envisagée, car le frottement ne peut avoir aucune relation avec le remorquage : à cause de l'effort de remorquage à développer, un remorqueur doit avoir une machine à grand effort et petit nombre de tours. Par ces conditions, la machine doit être bien lourde ; il en dérive aussi une forme spéciale de coque — disons à grande résistance — et qui réponde d'un autre côté aux conditions d'assiette dans les opérations de remorquage.

M. Blümcke considère après, les types des chaudières à retour de flamme, à tubes de fumée tubulaires, et il conclut défavorablement pour les chaudières multitubulaires, qui ne sont pas aptes à cause de la petite quantité d'eau jouant le rôle de régulateur sur la demande de vapeur par la machine. Sur ce sujet, nous ne sommes pas de cet avis, car l'avantage d'un petit poids est tellement important — spécialement pour la navigation fluviale — qu'on peut négliger tout autre désavantage ; au regard de variation sur la demande de vapeur, nous observons que la chaudière multitubulaire peut varier en peu de temps sa production de vapeur, de sorte que, avec du soin dans la conduite des feux on peut facilement suppléer à l'emmagasinement de chaleur dans la grande quantité d'eau des autres types de

chaudières. Du reste, les chaudières multitubulaires ont été appliquées sur remorqueurs de mer avec des résultats satisfaisants.

M. Blümcke examine la question du type de propulseur à roues latérales, à roues à l'arrière et avec hélices en « tunnel », il donne le dessin et les dimensions d'un bateau « Liselotte » avec hélice en « tunnel » avec un tirant d'eau de 1 m. 20 et une hélice d'un diamètre de 1 m. 70. M. Blümcke observe qu'on a pu utiliser une machine de 250 chevaux indiqués, lorsque pour un tirant de 1 m. 20 sans tunnel on n'eût adopté qu'une machine de 130 chevaux au maximum. Sur un tel bateau on a observé une tendance au soulèvement de la poupe et la facilité de la marche arrière qui représentait un point douteux.

Il donne, en outre, des renseignements sur un bateau avec deux hélices en tunnel — Little John de la « Trent Company Navigation » de 40 Tonnes de déplacement avec tirant minimum de 0 m. 533, qui se montra très supérieur à un autre bateau « Robin Hood » à roues latérales, dont les dimensions principales sont comparables à celles du « Little John ».

M. Blümcke conclut sur la supériorité évidente des bateaux avec hélices en « tunnels », pour le tirant minimum auquel peuvent être appliqués, par la bonne conservation de fond de canaux, à cause de l'écoulement de l'eau dans le sillage du bateau, pour la facilité de leur application dans les cours d'eau étroits.

Conclusions.

Les deux rapports présentés sont très intéressants au point de vue de l'étude de la forme de coques, appropriées à la navigation des rivières, et, par les renseignements sur les résultats obtenus avec la disposition des voûtes; nous pouvons conclure que cette innovation a fait faire au problème un pas très sensible en avant.

Mais, pour le type approprié de moteur, on ne peut pas en dire autant, car on n'a pas trouvé le type satisfaisant à l'exploitation commerciale. Pourtant, nous trouvons qu'il serait utile de mettre à l'étude au prochain congrès les questions suivantes — comme il a été proposé par M. Wahl :

1° Etude comparative des différents moteurs à vapeur, à essence, à huile lourde, à gaz, ou tous autres, applicables à la navigation commerciale sur les rivières à faible étiage. Comparaison de leur poids, de leur rendement, de leur consommation et de leur endurance;

2° Etude comparative des différents moteurs de toute nature applicables à la navigation sur les canaux. Etude du prix de revient du transport de la tonne kilométrique avec chaque système, en tenant compte de tous les éléments, tels que consommation de combustible, entretien de personnel, amortissement, etc.; comparaison de ces chiffres avec le prix de revient des mêmes transports par la traction animale.

JULES FUMANTI,
Capitaine du Génie Naval,
Chantier Royal de Castellammare di Stabia.



PERMANENT INTERNATIONAL ASSOCIATION

OF

NAVIGATION CONGRESSES

X. CONGRESS - MILAN - 1905

I. Section : Inland Navigation

4. Question

DEVELOPMENT

OF

Inland Navigation by means of shallowdraught vessels

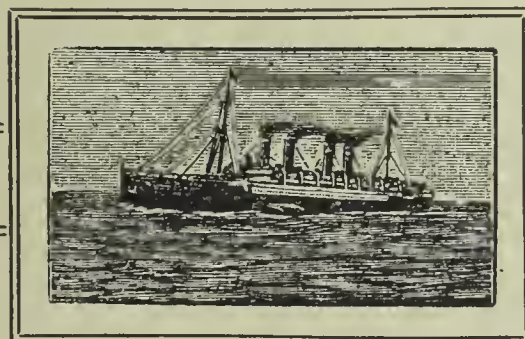
MODE OF CONSTRUCTION OF THESE, AND THEIR MOTORS

REPORT

BY

Mr. R. BLÜMCKE

Manager of the Schiffs- und Maschinen Actien Gesellschaft of Mannheim



NAVIGARE

NECESSE

BRUSSELS

PRINTING OFFICE OF THE PUBLIC WORKS (CO. LTD.)

18, Rue des Trois-Têtes, 18

1905

Development of the Navigation carried on by Vessels of Shallow Draught. Build and Means of Propulsion of these.

REPORT

BY

Richard BLÜMCKE

Manager of the Schiffs- und Maschinenbau Actien Gesellschaft of Mannheim

The question of the general development of navigation, as of that of vessels of shallow draught, first leads us back to the beginnings of all navigation, and in looking through the pages of history we cannot but acknowledge how highly developed was the science of Naval Architecture in the days of classical antiquity and even in the time of the Egyptians, whose history extends back 10,000 years before the birth of Christ. According to the descriptions on the monumental remains found in Theban graves, they had learnt to build their vessels with ribbed frames planked with papyrus reeds, with leather, and at a later time with wood. Further they had come to propel them by oars and by wind power acting on sails, and were even at home with the rudder as a means of directing their course. What a wonderful distance from the first roughly secured raft, or from the first tree-trunk hollowed out by fire, to our present standpoint !

History further teaches us, that the whole Science of Naval Architecture took its rise in the Inland Navigation of the Egyptians on the Nile : that although style and size (1) of the vessels altered, this people understood how to adapt their art to special requirements, but that the materials of construction meanwhile remained the same, as also the methods of fitting them together to form the hulls of the vessels. Also we find the first vessels intended to float on a shallow draught to be the production of

(1) Ptolomæus Philopator (241-204 B. C.). had a vessel built with 40 banks of oars. According to Graser *de veterum re navale* it was 128 m. long by 23.1 m, broad by 19.5 m. in depth, and had a draught of 6 metres.

the Egyptians. Wilkinson in *A popular account of the ancient Egyptians*, London, 1854, writes about these vessels : — It is probable that their keels were shallow in order to avoid sand-banks and that their forms were such as to facilitate their getting off again if they did happen to get aground on these : if we may judge by their models, they seem really to have been flat-floored vessels.

Thousands of years later — in the year 263 B. C. we find the first paddle wheel driven by a capstan — 1500 years later the compass — then the art of tacking against the wind was discovered, but in the construction of the vessel there was scarcely any progress to record, and experience counted for everything and was everything — experience so often based upon inexact observation, and so often bought at the price of human life : —

*Nature and Nature's laws lay hid in night.
God said « Let Newton be », and all was light.*

This proud inscription to be found on the birth house of the great man and doing honour alike to him and to his people, may find justification also in connection with Naval Science — he laid down the law that the speeds of bodies moved through air or water varied with the squares of their velocities. This was the first fundamental theory — practical utility could not be drawn from it till the invention of steam power.

It is historically recorded (1) that Papin, 1707, proceeded with his steam vessel — he was Professor of Physics in Marburg — from Cassel to Münden on Sept. 27th, and intended to sail down the Weser and across the North Sea to England. His vessel, the engine of which was probably of an improved Savory (hydraulic) type, fell a victim to the professional jealousy of the Weser shipping population — the fact however remains on record, that the first steamer was a river vessel, and that it came into being on a German river. We can only name the succeeding more or less successful inventors on the same field, such as the Englishmen Jonathan Hull, 1736, Patrick Miller, 1788, and J. Fitch, 1783, the Frenchmen Count d'Auxiron, 1774, Perier, 1775, and Marquis de Jouffroy, 1776, and the American Rumsey, 1787, who was the first to use the reactive force of

(1) RÜHLMANN. — *Notizblatt der Architekten und Ingenieurvereine für den Königreich Hannover* 1857. Correspondence between Papin and Leibniz on the subject.

water expelled from tubes for the propulsion of his vessel, and pass on to find in Symington with his steam boat « Charlotte Dundas » of 1802 on the Clyde and in the artist and engineer Robert Fulton the men who were able to present mankind with one of the most important inventions of all time. Acquainted with the partial successes of his predecessors in other countries, whose mistakes he cleverly avoided, Fulton in the Spring of 1803 made the first trial of his steamboat on the Seine. His boat proved too weak and broke, but in the course of the same year he was able with a stronger boat to astonish the World by the ease with which the vessel could be propelled even against the stream, and with which all necessary manoeuvres could be carried out. This day — the 9th of August 1803 — saw the birth of steamship navigation.

While Fulton's and all preceding steamships possessed paddle-wheels and Symington's practically successful steamboat the « Charlotte Dundas » had a stern wheel, we must not here forget the name of the man who performed a great technical feat in the propulsion of a vessel by a steam-driven Archimedean screw. In the year 1829 the Austrian Joseph Ressel (whose father was of Saxon extraction) had his boat « Civetta » built in Triest by the shipbuilder Vincenz Zanon, the steam engine in England, and the screw by the engineer Herrmann. The vessel, which was 18.3 m. long by 3.35 m. broad by 1.82 m. in depth, is said to have attained a speed of 9 knots with her engine of 6 horse power.

Although according to the particulars given by Beuth (1) more than 160 steamers had in the year 1823 already been built in England, for us the question of the commencement of the river steam navigation in Germany is none the less of interest. We thus find the steamboat « Défiance » built in London and fitted with two horizontal cylinders beginning work on June 12th 1816 on the Rhine at Cologne, and the Scotch steamer « Lady of the Lake » taking up her regular trips on the Elbe between Hamburg and Cuxhaven.

The Danube was first traversed by steam vessels (2) in 1830. This began with the steamer Franz I belonging to the Donau-Schiffahrt-Gesellschaft, the engines of which were built by Bolton & Watt.

(1) Transactions of the *Verein zur Beförderung des Gewerbefleißes in Preussen*, 1824.

(2) SOECHENYI: *Ueber die Donauschiffahrt*, Ofen, 1836.

While now in the serviceable steam engine, as in the paddle wheels (1) and screws, the peoples engaged in navigation were provided with the means by which they could drive their vessels forward almost independently of wind and weather, and could thus carry on regular services of navigation that were bound to time and the performance of definite work, iron supplied a material of construction which could be bent into every desired shape, though in the then state of the rolling industry it could be obtained only in restricted quantity. It was, however, to be expected that almost every new vessel would have improvements of one kind or other to show, especially when so many capable men were striving in the same direction.

While now the greater part of these improvements applied principally to sea-going vessels, we still find considerable achievements in river vessels. After the iron vessel « Victoria » built by Ditchburn of London in the year 1839 and having a length of 58 m., a breadth of 7.01 m., and a depth of 2.77 m., had on a draught of 0.864 m. attained a speed of 12 English nautical miles (2) with 80 N. H. P., the Loreley built by Fob Smith of a length of 54.25 m., a breadth of 5.638, and a depth of 2.793 m. was able with 80 H. P. (the engine was built by Miller in London) to reach a speed of 15 English miles in 1851, and in 1853 the « Hohenzollern » built by the same firm with a length of 67.36 m., a breadth of 5.486 m. and a depth of 2.819 m. succeeded with 110 H. P. in attaining even 17 English miles an hour with a draught of 1.066 metres.

The fastest river vessels, however, were the steamer « Jupiter » of 55.77 m. in length by 5.486 m. in breadth by 2.895 m. in depth built for the Star Company's Thames Service in 1851 to carry 265 tons of cargo, which with 80 H. P. steamed at 19 English miles, and the steamer « Mars » of similar dimensions which attained 19 1/2 English miles and thus established a record which — leaving out of account the performances of the fast ocean liners and of the torpedo boats — has up till the present day not often been beaten.

The first steamers that appeared on the Rhine had ordinary land engines — the choice of styles was then very restricted —

(1) The first English patent for wheels with movable floats was taken out as early as 1813 by the Glasgow mechanical engineer Robert Buchanan.

(2) 1 British nautical mile = 1852 metres = 1 minute on the Meridian.

and the low pressure engines built in England with pairs of vertical cylinders and overhead beams came as an important improvement.

A further improvement again came with the cylinders swinging in hollow sockets — the oscillating engines — which are probably still to be met with on the lower reaches of the Oder and Elbe, but which have altogether disappeared from the Rhine. A very great step in advance was made in the introduction of the compound engine, of which G. M. Roentgen of Eijneoord (a German by birth) must be looked upon as the inventor who as early as 1826 re-constructed some engines obtained from England. It was not, however, till the Roentgen compound engine combined by John Elder with the surface condenser invented in 1858 by Hall appeared upon the scene, and until the coal prices, which towards the end of the sixties of last century had risen to an unusual height, imperiously demanded the introduction of more economically working engines — when excellent very economically working engines of this class had in particular been built by the Swiss firm of Escher Wyss and illustrated than in pointing to the amount of coal required to engine now always made use of. It was not till the end of the eighties that the triple expansion engine began to be applied to paddle tug steamers and in isolated cases also for screw steamers.

While the first steam boilers were box-like monsters, which in spite of a lavish use of stay-bolts which rendered cleaning difficult, were not very strong and had proportionately small pressure of steam, the cylindrical boiler, first designed in Scotland and having a large furnace tube and steam tubes above it leading back the flame, provided a structure of sufficient strength to admit of steam of high pressure being produced and advantageously made use of. While the normal pressure of steam in the boiler was 1 Atm. in 1855 and 2 Atm. in the seventies — although pressures of 5 and even 6 Atm. were in some places in use — today there is scarcely a boiler to be found in any vessel with less than 10 Atm., while 13 Atm. of pressure, or even more, are not uncommon.

These effects of these various achievements cannot be better illustrated than in pointing to the amount of coal required to produce a horse power in the early days and now. In the case of low pressure engines this used to be not less than 2.25 kg. ; it was reduced in the single-expansion engine with surface

condensation to 1.2 kg. and in the compound engine to 0.9 kg. while in the triple expansion engine (1) it went down to from 0.8 to 0.7 kg. — these latter figures, it may be observed, have already been reached with superheated steam working in two-cylinder compound engines.

According to the 14th edition of the Rhine Vessel Register the Rhine fleet in 1904 comprised 160 paddle and 1 006 screw vessels with 95,226 and 154,835 I. H. P. — in all 1 166 steam vessels with 247,061 I. H. P.

In view of the above-given numbers of the Rhine vessels of today and their engine powers the following table showing the slow increase of the numbers of marine engines in Prussia in the first half of last century may here be of interest.

Year	.	Land Engines	Horse Powers	Marine Engines	Horse Powers	Locomo- tives	Horse Powers	TOTALS	
								Engines	Horse Powers
		—	—	—	—	—	—	—	—
1837	.	419	3,356	4	158	—	—	423	7,514
1840	.	615	11,713	6	226	13	340	634	12,279
1843	.	862	16,496	79	3,869	149	6,867	1090	27,241
1846	.	1130	21,716	77	4,737	275	14,677	1491	41,130
1849	.	1445	29,483	90	9,319	429	28,348	1964	67,150
1852	.	2124	43,049	102	9,232	607	40,191	2833	92,476
1855	.	3049	61,945	123	10,907	913	88,922	4085	161,774
1862	.	—	—	—	—	—	—	8653	365,707

The further development or increase in the numbers of the steam engines is of interest to us only so far as marine steam engines are concerned, and in particular those in river vessels. Following the important work of Ernst Engel, *Das Zeitalter des Dampfes*, the *Statistischer Correspondenz* every year publishes reports on this subject in which the figures for the engines of sea-going and river vessels are since 1890 given separately, and we reproduce these in the following table.

(1) Quadruple expansion engines, in connection with which in regular working only 0.68 kg of coal is now needed, have not been adopted in river steamers.

The numbers in the State of Prussia were : —

On		Inland Vessels	Engines	Horse Power	
—		—	—	—	
Jany 1 st 1879	. .	609	623	50 309	incl.
" 1884	. .	—	906	—	
" 1885	. .	993	1 048	101 349	Seagoing Vessels
" 1886	. .	—	1 114	—	» »
" 1887	. .	1 126	1 172	—	» »
" 1888	. .	1 186	1 246	22 119	
" 1889	. .	1 590	1 674	154 199	
" 1890	. .	—	2 007	176 601	
" 1891	. .	1 077	1 844	96 025	
" 1892	. .	1 128	1 978	107 915	
" 1893	. .	1 195	1 285	115 741	
" 1894	. .	1 240	1 338	104 616	
" 1895	. .	—	1 465	135 985	
" 1896	. .	—	1 513	139 568	
" 1897	. .	1 495	1 642	153 012	
" 1898	. .	1 548	1 708	160 982	
April 1 st 1899	. .	1 606	1 761	176 403	
" 1900	. .	1 696	1 889	193 770	
" 1901	. .	1 738	1 928	302 218	
" 1902	. .	1 757	1 946	196 186	
" 1903	. .	1 814	2 018	207 586	
" 1904	. .	1 827	2 034	218 850	

It is not the aim of the present paper to touch upon all the inventions aiming at the improvement of navigation, which have sprung up in our time — upon the numberless patent furnace-grates and the dreadful under-draught arrangements which turn the furnace tubes into smith's chimneys but ruin the best boilers, and the equally numerous and equally steam-devouring smoke-abatement appliances — upon the propelling appliances of all kinds that have sprung up and hardly been accorded decent burial, including the ship propellers of which there are about as many as there are naval architects, the paddle wheels, and the paddle floats. Hardly a day passes which does not bring something new — luckily only something new, and very little that is of practical use, for the shipbuilder would have a hard lot, who should be obliged to try or to apply every monstrosity that is invented.

The object of this report is rather to show to what extent it

has been possible, with what has been recognized as good and practicable, to lead navigation as one of the principal traffic media of our time to the places where it met with its worst enemy, the want of water — to lead it to the points where the otherwise applicable dimensions and well-tried formulæ failed, and where the first requisites are light weight without loss of safety and the faculty of readily manoeuvring.

The problem would also be an easy one if the above-mentioned enemy were the only one that had to be considered, but it is generally the case, that just at the point at which want of water begins to offer a serious obstacle to navigation, there are further difficulties to overcome. These often consist in strong currents occurring in the upper reaches of rivers fed by mountain streams, in frequent and short bends, in narrowings of the sections of rivers produced by rocks, by training dams and the pillars of quays and bridges, in short or narrow locks, in low bridges, which shortsighted economy even in our time—we may here mention the 2 m. height above water of the bridges on the Upper Danube — has allowed to spring up as fixed barriers against the free traffic by water. All these stand far firmer than the tolls and dues of the earlier gloomier ages as hindrances to the choked and pent up navigation.

Many enemies, much honour' is a saying often applied in such cases, and to a certain extent cautious advances have enabled us to overcome all these enemies — to a point at least at which navigation is still a necessity and at which it pays and is therefore economically justified.

If we view as a whole, the fleet built for such purposes, we have to distinguish between steam vessels and cargo vessels, and the former again must be divided into those which move freely and transport either passengers or goods, and into those which are intended to tow other vessels.

Cargo vessels.

As the country, so the people and their characteristics — in like manner, as the river and its peculiarities, so the vessel has adapted itself to these and assumed its form, and the study of the shallow river-vessel types supplies the professional man with enough that is of interest — does not almost every one of our German rivers show quite distinct types of vessels that are peculiar to itself and generally survivals of old times ?

It is true that the material of construction which is more and more coming into use for these vessels — iron or steel — is exercising an equalizing and generalizing influence on these, but we must nevertheless pause awhile to consider the old types of vessels on the German rivers. In the eastern districts of the realm — on the Memel, Pregel and even on the Vistula — a real shallow-draught type of vessel is not to be found. The strongly built Kurish « Reisekahn » with its not inconsiderable draught can hardly come in question as a shallow-draught vessel. It has its own peculiarities, however, and its dimensions are about as follows : — length 27.5 to 29 m., breadth of deck 6.87 to 7, depth at side amidships 1.86 m., draught 1.76 to 1.79, and cargo carrying capacity 163 to 165 tons.

Different from the circumstances on the Vistula are those on the Oder, where we find the not unpractical but very ugly « Oderkahn » often and indeed generally still built entirely of wood. It has a flat bottom of a thickness of 8 to 10 ctm. made of fir or spruce with gunwale planks of pine or oak with light covering planks laid horizontally and fitting over one another and generally with longitudinal bow timbers carried obliquely upward, and seldom fitted with stems and sternposts. Also in cases in which iron is used for the side walks — the bottom was probably at first made of wood — the form is in general not much altered. Inartistic as a vessel of this type appears, the arrangement of its materials of construction is highly favourable to strength, and it thus shows a relatively small equipped weight and a correspondingly large carrying capacity. The seams of the bottom are often caulked with moss and this material is often held fast by iron clamps. The seams of the bottom are often closed by half-planks of wood of about 3 ctm. in breadth let into the planking and nailed on. The butts of the planking are generally closed by pieces of board let in. Attention may be drawn to the good steering qualities of these barges even when coming down the river, which is in the main due to the circumstance that the greatest breadth of the vessel is kept well forward and that the sides of the vessel are not parallel but are somewhat tapered off towards the stern.

Truly, these vessels have a more stately appearance under their light sails carried on three masts and extended by sprits, and with these they attain a surprizingly good speed. In Summer their voyages often extend across the Stettiner Haff and for short distances into the Baltic.

The spoon form of the fore and after bodies, which has wrong-

ly been ascribed to the shipbuilder Kleppsch as an invention, was a characteristic of these barges. In 1863, long before Kleppsch, R. Haack of the Stettiner Vulcan, applied it to the screw cargo barges « Comet » and « Saturn » and for moderate speeds it showed itself decidedly advantageous. This type of vessel has in recent years been built by the Caesar Wollheim Yard in superb form and with, all the technical improvements which could be applied to it. For such vessels this yard has also helped the iron ship's bottom to its rights and, according to experience so far obtained, quite successfully. Oder barges of this description are built to about the following dimensions : length (extreme) = 46 m., breadth = 5.4 m., depth at the side = 1.9 m., draught when light = 0.32 m., carrying capacity = 250 tons, or length (extreme) = 54.9 m., breadth = 7.8 m., depth at side = 2 m. ; besides these there are smaller vessels intended to pass through the Finow Canal, which in their build and equipment are of a very similar pattern with dimensions of length (extreme) = 40 to 40.2 m. breadth (extreme) 4.44 to 4.6 m., depth at side = 1.75 to 1.9 m., and carrying capacity about 190 tons.

Similar to the Oder Barge in form and build, but fitted with stern and sternpost instead of with the bow timbers which characterize the first named type, and with considerably larger principal dimensions and increased sheer is the « Elbkahn » on the River Elbe. Here also the wooden bottom is for the most part retained, while iron bulkheads have within the last decades more and more come into use. So long since as the year 1880 the Author oft his report had occasion to build a number of barges of this kind with frames and side plating of Siemens-Martin steel obtained from Austria, and to convince himself of the excellent qualities of this material, which for shipbuilding purposes was then hardly known. These were probably among the first vessels to be built of such material (1). Now that in recent years large deep-going tank barges for the transport of petroleum have been built with iron bottoms, and also the heavy tug steamers with their iron bottoms have become accustomed to trade up to the upper reach of the Elbe, it is not clear why the heavy wooden bottoms with their greater friction and therefore increased requirements in regard to towing power should still be clung to — the river bed of the Elbe can hardly, one would think, be more dangerous to the vessels' bottoms than

(1) The first steel vessel was built in the Vulcan. of Stettin in the year 1881.

that of the Rhine, on which iron barges with wooden bottoms would be looked upon as a punishable offence. Equal durability being assumed, against the cheaper first cost must be set the better utilization of the carrying capacity, and this summed up for the whole of the Elbe fleet represents an economical factor that is not to be despised. To this must be added the increased exercise of power which is necessary for the towage of vessels with wooden bottoms and the need for which has been proved by Herr Suppan the Captain and Manager of the Donau-Dampfschiff-Gesellschaft, amongst others, so long since as the year 1898 in practical trials, and confirmed by R. Haack and H. Engels in 1902 by means of model experiments — the increase of resistance was found to reach 33 per cent, or according to Suppan even 94 per cent — and it thus becomes the less easy to understand how and why the wooden bottom has not long since died out.

In order to shew to what dimensions the Elbe barge has gradually developped those of a cargo vessel with auxiliary steam power built by the « Kette » Shipyard in 1901 may here be given. Since this vessel has the typical peculiarity of the Elbe barges an illustration of it is given in Fig. 1 of Plate I. The dimensions are : —

Length over stem and sternpost	78.3	m.
Length on the upper waterline	75.7	m.
Length of the bottom	71.0	m.
Greatest breadth over the frames	11.81	m.
Greatest breadth of the bottom	11.55	m.
Least depth at the side	2.00	m.
Light draught	0.405	m.
Carrying capacity on a draught of 1.8 m.	1.057	tons

In the course of towing experiments made on the Hamburg-Magdeburg reach the strain on the tow rope was determined with a constant load and speed,

at light draught for an iron bottomed vessel with a displacement of 700 kg.,

at light draught for a wooden bottomed vessel with a displacement of 800 kg.,

for a cargo of 12,500 Cwts. and a displacement of 1,600 kg. with iron bottom,

and for a cargo of 12,500 Cwts. and a displacement of 2,400 kg. with wooden bottom.

The result of these trials was that the powerful Elbe tug-boats which can now tow about 60,000 cwts. could with the same exercise of power easily tow 90,000 cwts. if the bottoms were of iron — an economical advantage which makes the clinging to the wooden bottom almost inconceivable.

Still another vessel may be mentioned which is peculiar to the Elbe — the Bohemian Zille, a cargo vessel which came into existence on the principal arm of the former river, the Upper Moldau — which is known to every dweller in Berlin under the name of the Appelkahn. First built in rough form of long unplanned but sound pine boards without iron of any kind this vessel consists simply of a bottom, of root-knees worked flat on one side but otherwise left rough. The points of these extend above side walls which as a rule consist of two planks. The vessels are intended to bring cereals from the rich cornlands of inner Bohemia to Prague and other towns lying on the Moldau. At the end of the voyage the boat is sold as a «naked Zille», and is cleverly rebuilt on the Upper Elbe in Aussig, Bodenbach, or elsewhere, on a different plan. The rebuilding consists in the bending up of the fore and after ends of the bottom planks so as to form bow timbers, in the addition of a few more side planks including a strong fender as upper girder-flange nailed to the existing frames or root knees. The side of the vessel is thus made higher and she also is provided with a loose boarded roof laid on a light readily removable framework and serving as a deck. Finally a cabin is fitted at the after end for the steersman, and another at the fore end for the sailors. Further in place of the long raft or oar rudder originally used comes a turning rudder hung by a loose bolt on a stern block as in the case of the Elbe barge. Then comes an iron windlass of a very primitive description, and finally the vessel is coated with yellow tar and receives the characteristic oil-paint decoration of the bow. Thus altered the Bohemian Zille now forms a very useful and, as regards first cost, very cheap vessel — true, it will only last for from 5 to 6 years at the most — and traffic medium for use on the Elbe and its tributaries, which finally meets with a violent death from the large saw in one of the establishments popularly known as « Zille Slaughter Houses » situated on the Spree above Berlin, and goes to compete with the products of the farfamed timber auction in Grunewald.

Of these primitive and improved products of the shipboulder's art, which may truly be said to be Elbe-built there were introduced — this is adduced to shew the great extent of the industry

— according to Bohemian official figures, 1123 in all, during the years 1900 to 1902.

On the upper reach of the Weser there were formerly to be found cargo vessels built mostly of wood and of very full form. These were commonly called « Weserböcke » and probably some of these are today still to be found. In the nineties of last century, however, the iron cargo-vessel also became typical here, and this in as good shapes as the very awkward peculiarities of the river and the cargo carrying capacity would admit of. Not last and in no small degree as a result of the well-directed energy of Mr. F. W. Meyer, the owner of the Weser Mills in Hameln on the Weser, navigation has evolved some very useful vessels the approximate dimensions of which are : — length 56 m., breadth = 7.3 m., moulded depth = 1.90 m., their light draught being 0.23 m., and their carrying capacity on a draught of 1.5 m. being 460 tons. (Compare Fig. 2 of Plate I.) Instead of the loose boarded covers of the Oder and Elbe barges the Weser cargo vessels generally have a cover of galvanized corrugated iron and the unquestionable advantages of this arrangement — small increase of cost with almost unlimited durability and complete and lasting watertightness without expenditure of money for maintenance, strength, and ability to support deck cargoes, coupled with light weight, handiness, and the agreeable possibility of rapidly covering up the cargo holds in case of a sudden shower of rain make it unintelligible that this kind of covering has not already come into the most extended use on other rivers.

Exceptionally well formed and constructed barges and lighters are to be found in large numbers on the Lower Weser and Elbe, but these are not of the shallow-going description and do not therefore come in question.

Fuller and uglier so as to make the most of the carrying capacity — of course, at the expense of ease of towing — are the iron cargo vessels on the Dortmund-Ems Canal, which in other respects have no very definite peculiarities to show. The corrugated iron cover, be it remarked, has been adopted here also.

Very much more shipshape, in spite of apparent clumsiness, is the type of vessel peculiar to the Ems — the « Punte ». Able, it is true, to carry not more than about 100 tons, this unadorned wooden craft is an excellent sailer, and in the low-lying districts it is able to make the most of the hardly ever failing breezes and easily to cope with the traffic in every little stream.

By far the best river craft in a technical sense is the Rhine

Vessel, to which also has fallen by far the greatest share of the goods traffic on the German waterways.

According to the XIV Edition of the Rhine Ship Register there are at the present time

Rhine ships under the

German flag	2563 vessels with	1,573,928 tons
Dutch flag	4630 »	1,107,826 »
Belgian flag	1561 » »	448,197 »
<hr/>		
In all	8754 » »	3,129,951 tons

and the Rhine fleet had (according to Sympher) so long since as the year 1895, from Kehl to the Dutch boundary, a traffic per kilometre of 5,350,000 tons, compared with 3,150,000 on the Elbe from the Austrian boundary to Hamburg during the same year.

While, in view of the great variety in the dimensions of the Rhine vessels — according to the above figures the capacity of the average German vessel is 614 tons, that of the Dutch vessel 239 tons, and that of the Belgian one 290 tons — it is hardly possible to speak of a « normal vessel », such an one having a carrying capacity of 1 000 tons may be taken as the most common, and its dimensions may be : — length 72 m., breadth 9.32 m. and draught 2.3 metres. The largest Rhine Ship at present trading on this river has a length of 100 m., a breadth of 12 m., and a draught of 2.9 m., and has a carrying capacity of 2 340 tons.

So long as the vessels on the Rhine and its tributaries were built of wood a busy activity was to be seen in a large number of shipbuilding yards and ever since the early times German shipbuilders were looked upon as specially capable and clever. So long since as the year 1770 shipbuilders were brought from Lohr-am-Main to Prague and Vienna to build ships for the Moldau and the Danube, and in the year 1836 more than 600 vessels with an average carrying capacity of 105 tons each were launched at Dorsten on the Lippe.

As the use of iron and steel increased in the shipbuilding of the Rhine and the dimensions of the vessels increased, a very considerable transfer of the industry took place — very much to the detriment of the German yards — towards the Dutch mouths of the Rhine, where wages and the general conditions of life were cheaper and the shipbuilders reaped the advantage of the

competition between English, Belgian and German material unhampered by duty.

The Rhine Ship of today can, as regards carrying capacity on small equipped weight, good distribution of the materials of the structure, and structural strength, as also in regard to practical arrangement of the holds and to manoeuvring qualities, probably not be excelled. At the same time — reasonable maintenance being assumed — its durability is almost unlimited, iron Rhine-Barges being still in useful service which were built in the year 1863. What principally distinguishes these vessels from the craft on other rivers is, in addition to the smarter and more ship-shape appearance, the possession by them of a broad iron stringer on the deck called a gangboard, of iron hatch coamings, and of smooth hatch covers made of boards joined together in the manner of those of sea-going vessels. Then the iron rudder is moved in each case entirely by means of a large horizontally arranged hand wheel with spokes and by the help of a toothed quadrant. Windlasses forward and aft on the deck geared to the pinion wheels at a high proportion and the chainwheels for both the bower anchors with friction cones to facilitate the taking in and letting out of cable, enable the heaviest anchors to be heaved up at a very rapid rate and without danger to the small but sufficient crew, which in the largest barges may consist of three or at most four men.

Worthy of note are the masts, generally three or four in number in strong sockets on deck, each with a winch by the help of which a boy can let them down on deck and heave them up again with their topmasts wire shrouds and running rigging. Latterly it would seem that the well-tried build of these vessels has also found favour on the Elbe, and it is to be hoped that the wooden ship's bottom, which has so long been clung to on that river, may now disappear there also.

In regard to the Moselle and Neckar barges, indispensable though these are on the tributaries of the Rhine, there is not much to be said. These are generally built of wood with low sides and with hatch coamings after the manner of the Rhine vessels — they are, it may be remarked, of excellent shape and easy to steer. The very artistic form of their bows and sterns has something of the spoon character, and indeed these craft are, technically speaking, of a much higher class than those which deal with the whole traffic on the German-French-Belgian canals, and which in regard to full troughlike appearance and primitive and often unscrupulous style of build are for-

unately seldom surpassed. Beyond their peculiarly ugly form, if they can even be considered to have such, which even the general aim to make the most of the carrying capacity attainable within the overall dimensions fixed by the narrow locks can hardly justify, these vessels of about 300 tons capacity have no special characteristics to show. They are generally drawn by horses, but have recently been sometimes driven by benzine or suction-gas motors. The traction horses are often hired for a whole voyage and stables are fitted on the boats for their accommodation. For the voyage on the Rhine itself it will be obvious that their very full lines conduce to bad steering qualities.

Steam Vessels.

On the large navigable rivers of Germany we have found a considerable variety of cargo vessels, which have grown out of the peculiar conditions there prevailing and whose forms have in many cases been handed down from father to son for decades and centuries and slavishly copied. Such variety is not to be found in the same degree among the steamers and it appears still less in the case of tug steamers. In these vessels — of course within the limits set by depth of water, heights of bridges, breadths of waterway-sections, and bends, for the dimensions of the vessels — the question of power required to overcome their own resistance and that of vessels to be towed by them, is the all important one, and in each case determines the size of the vessel and her general arrangement.

Let us first consider the freely moving — that is without towed vessel and without arrangements for towing — steamer for shallow water service. Here the chief question is that of overcoming the greatest speed of current, and this in conjunction with the greatest admissible draught is at the outset often of supreme importance in regard to the possibility or impossibility of success. It is of course open to the designer to seek to obtain the buoyancy necessary for the vessel and her propelling apparatus by an increase of her length — unless short sharp bends of the river make this impossible, or a necessity exists for exceptionally good manoeuvring qualities which are generally unattainable in long vessels. If, however, we have to do with water which, though shallow, is of considerable breadth, and above which there is sufficient unobstructed height for the application of paddle wheels, we shall first have to consider the

question of the use of side wheels. In this case also it will not be difficult, with full regard to structural strength to make the hull, as also the engine boiler and the paddle wheels sufficiently light — provided speed of current does not interfere with our calculations — to allow a useful vessel to result. Since speed of current has to be overcome, we cannot indeed give the vessel unlimited breadth or make her of exceptionally full form. In such case we should require an increase of power, and other drawbacks would intervene. The question can, however, be looked upon as satisfactorily solved, and of this a number of completely successful paddle steamers for the carriage of passengers and small quantities of cargo on our shallow rivers afford sufficient evidence. Thus the Sächsisch-Böhmische-Dampfschiffahrt-Gesellschaft of Dresden, with their more than 60 years experience have a considerable number of finely-lined well-modelled and very tastefully arranged steamers. Learning something more with every successive vessel and making useful application of what they have learnt, they show a truly touching care in dispensing with all weights that can possibly be done without, so that they can work their vessels on the smallest imaginable draught. The first steamer belonging to this Company, dating from the year 1837 — the « Königin Marie » — was built to the dimensions : —

Length = 36.092, breadth 3.923 m., breadth over the paddle boxes 7,846 m., depth 2,51 m., light draught 0.484 metre. She has a pair of oscillating engines of 40 H. P. each and a tubular steam boiler.

According to the Elbschiffahrts Kalender for 1903 the Company possesses 36 passenger steamers with a total of 5,000 I.H.P., 3 screw steamers and various other craft without steam power. The number of passengers carried in the year 1901 was 3,460,151. The new vessels of the company are provided with inclined cylinders and their boilers work with a pressure of 10 Atmospheres.

On the Moselle also the often very shallow water has produced a beautiful and in every way successful type of paddle steamer, in which however, on account of the many sharp bends in the stream, a limit was set to the length, and the draught could not in consequence be kept at the desired amount.

As regards the smaller kinds of free-running boats for shallow water, motors will now come in question and as propellers may be mentioned single screws, double or twin screws, screws that can be raised or lowered according to the patent of the

Deutzer Gasmotoren Fabrik, and screws that work in tunnels with the stern of the vessel built over them. If however, on account of narrowness of the river the use of side wheels be impracticable, recourse may be had to stern wheels which do not add to the breadth of the vessel, or to a single screw if a diameter can be given to it such that the necessary power can be transmitted by it to the water, or again to twin screws unless they be too much exposed to danger from rocky bottom or banks, or impracticable on account of sharp bends in the waterway, or finally to a screw in a tunnel which we shall consider in connection with the tug steamers. Of vessels of the above descriptions there are also numerous thoroughly efficient examples, and it must only be pointed out here that their general appearance must often be judged in view of the restraint which lay upon the shipbuilder and which often prevented him from producing something generally pleasing to the eye.

For the waters that flow in their natural conditions untamed by the hand of man in the colonies beyond the Sea shallow-going stern-wheel steamers have been the most successful, and for many years past such steamers have been delivered by the Scotch and English Shipyards to the British Colonies in sections that can easily be put together at their places of destination.

In the German Colonies also there are such vessels. Thus for Cameroon the Steamer « Soden » was built so long ago as 1889 in the Shipyard of Jos. L. Meyer, of Papenburg on the Ems (Compare Fig. 2 of Plate II). Also for German East Africa there is the steamer « Ulanga » for service on the River Rufiyi, built in the same yard. These vessels have the following dimensions : —

	« Soden »	« Ulanga »
Length on deck without the paddle-box	24.00 m.	33.00 m.
Length on deck including the paddle-box	26.70 m.	36.55 m.
Length on the waterline	22.80 m.	30.70 m.
Breadth moulded	4.75 m.	6.15 m.
Depth moulded	1.00 m.	1.10 m.
Draught with equipment, armament, coal, provisions, water in the boilers, inventory, spare gear, and crew	0.50 m.	0.425 m.
Speed in smooth water	7 knots	8 knots.
Engine, Two-cylinder compound	240 + 435	305 + 500
Stroke	800	1000

	« Soden »	« Ulanga »
Diameter of paddle-wheel	2.5 m.	3.0 m.
Number of fixed floats	9	8
Locomotive boiler. — Pressure in Atm.	10	10
Heating surface for wood fuel	30.74 sq.m.	51.19 sq.m.

The stern-wheel steamer « Lippe » was built in 1866 for the Royal Prussian Building Administration in Hamm by Gebr. Schultz, the predecessors of the Schiffs- & Maschinenbau Act. Ges. of Mannheim to be used for trips of inspection and for towing, and its power proved sufficient to enable it to steam up stream without tow-train at 7 km. per hour in face of a 2 km. current, and with a towed vessel of 18 cbm. measurement at 3 kilometres. Its principal dimensions were : —

Length on the waterline	17.0 m.
Length over the paddle-box	19.5 m.
Breadth moulded	3.0 m.
Depth moulded	1.0 m.
Draught in equipped condition	0.6 m.
Engine, Two-cylinder compound	220 + 415
Stroke	600 mm
Cylindrical water-tube boiler.— Pressure in Atm.	7.5
Heating surface	22.5
Diameter of wheel	1800 mm
Number of floats	7.

Very efficient and useful steamers with side or sternwheels can be built on draughts down to a minimum of about 400 mm. Steamers have indeed been built to still smaller draughts, but any considerable capacity for work cannot be expected of these.

Steamboats with single screws on shallow waters with considerable current are rare, since the revolutions of the engine per minute cannot be increased to any very high degree and the diameters of the very small screws are no longer able to transmit the necessary power to the water. Single-screw steamers, then, that still have some little capacity for work can be built to draughts ranging down to 600 mm. and their engines may have horse powers of about 20 to 30.

At the same draught the use of twin screws shows itself to be much more advantageous. Provided the breadths of the vessels can be increased sufficiently to provide for the greater displacement and room required for a second engine, twice as much power can without further ado be adopted for the same

draught of water, and the capacity for work, if not quite doubled, may at least be materially increased. The arrangement of the screws on such vessels may be taken as sufficiently well known — there is no special peculiarity about them. In Fig. 1 of Plate II a twin-screw steamer is illustrated which was built in 1903 for the Royal Canal Commission of the Dortmund-Ems Canal by the Schiffs- & Maschinenbau Act. Ges. of Mannheim, in which encouraged by results obtained by Professor Schütte in his model-experiments on the one hand, and by Baurat R. Haack on the other, a new form of sternpost is adopted in conjunction with a keel curved up at its after end. This construction has proved advantageous and for the attainment of speed, as also of good steering qualities in narrow waterways, it has proved its excellence. In order to turn the balanced rudder hung from above much less power is, of course, necessary, than for a rudder that turns on a vertical axis at its fore end.

If the twin screws are not able to give the vessel the necessary power, there only remains the screw working in a tunnel, with the stern built over it, which we shall consider in connection with the tug steamer.

Vessels with other propelling apparatus than the ones mentioned have also been built — we must, however, leave out of account the inventions of this kind, often as clever as they are impossible, of which the patent reports of all countries are always full, and confine ourselves to those seriously tried.

For instance a number of light vessels have been built by the « Kette » Shipyard in Uebigau, near Dresden, with Zeuner turbine propellers, which have given noteworthy results (1). Thus the boat « Sachsen » of 33.7 m. length, 3.7 m. breadth, 0.665 m. draught and 173 I. H. P. has attained the very considerable speed of 5.280 metres per second (or 20 km. per hour) and her very good steering qualities are especially to be noted.

When the shallow draught is taken into consideration, it must be admitted that such speeds as those given can scarcely be attained with any other system of propulsion.

We now come to the tug steamers, which on shallow waters with strong current must develop the power necessary for the propulsion not only of themselves but also of other vessels, and with these the question of the style of vessel and its system of propulsion in each case becomes much more difficult. Extra

(1) Compare : AUG. JAHNEL. *Flussfahrzeuge von geringerem Tiefgang als 75 cbm.* IX Internat. Schiffahrtscngress 1902.

weight corresponding with the engine power assumed at the outset, is required and also extra room for engine, boiler, and bunkers. Since the draught is given, there remain for the attainment of the extra displacement required only increases of the length and breadth to be considered. With both of these latter, however, the material required for giving the necessary strength to the structure of the vessel must increase, and consequently also the weight, so that the limit is soon reached in this respect even if it be not already set by the conditions of the river itself. The necessity of greatest possible saving of weight in all parts, as far as possible without reduction of the margin of safety, here makes itself apparent. Further the question of displacement cannot here for a moment be left out of account, in so far as the necessary friction resistance of the vessel in the water must be produced — and to this question too little attention has hitherto been paid by shipbuilders : too little to avoid the occurrence of occasional disappointments. And yet it is an obvious one, like the question of the service weight in connection with the tractional performances of a locomotive which is often the deciding factor. I know of many cases in which under ordinary conditions of stream specially light vessels with engines that were ample in power for the towing-work required of them were tried with great expectation of success and gave only poor results. We can indeed easily prove what we have said by a reference to the torpedo boats, intended to attain the highest possible speed and built of the costliest materials with a really touching economy in these. With the least possible displacement they attain tremendous engine power and astounding speeds but in regard to their towing performances they are easily beaten by tug steamers specially designed for such work. On the other hand also we find that large vessels with relatively small engines do very good towing work, and in specially difficult cases, whether we like it or not, we must, consider the question of the least admissible displacement. In every design, in which it seems at all possible, the application of the side-wheel steamer must first be considered. We have shown above that the free-moving screw boat with ordinary propeller can have a minimum draught of 600 mm., and that with this only from 20 to 30 I. H. P. — with ordinary twin screws from 40 to 60 I. H. P. — can be usefully applied ; in a side-wheel steamer it is not difficult with the same draught to apply 300 I. H. P. It is true economy must here be exercised and the material of construction must be of good quality and

be judiciously distributed. If the structural parts of the vessel will not admit of reduction, the general weight can still be lightened by a gradual lowering of the side towards stem and stern, somewhat after the manner of the chain-steamers. The not very good appearance of ships thus built can often be improved and hidden by continuation in a fair curve of the rail and by the raising of the gunwale moulding above the deck. In estimating the weights the large quantity of water, which in cylindrical watertube boilers, in furnace tube boilers with return flame arrangement, and in Scotch boilers is carried along as ballast, strikes one as a great drawback. In very shallow-going steamers these boilers will therefore seldom be met with, but instead of them will be found boilers with through-going flame i. e. boilers with furnace tubes the lengths of which are determined by the necessary length of grate and which are bounded in each case by an iron tube plate or by a combustion-chamber, while the steam tubes extend from the tube-plate to the other end of the boiler, so that the flame only needs to take a straight path. The weight thus saved is considerable — there is a gain in weight on the one hand through the abolition of the combustion chamber, and on the other through the diminution of the quantity of water in the boiler.

Even in steam boilers with throughgoing flame a considerable quantity of water has to be carried, and recourse will have to be had to locomotive boilers, in order to reduce the weight still further. The comparative circumstances in the boilers above mentioned as regards weight may be seen from the following table : —

	Heating surface	Pressure (above)	Weight of Boiler	Quantity of water per
Boilers with return flame .	60	9	12.7	6.1 HP. = 18.8
» with throughgoing flame.	60	10	10.5	6.6 » = 16.5
Boilers on the Schultz-Thor- nycroft system	50	10	3.75	0.85 » = 4.6
Boilers on the Schultz-Thor- nycroft system	36	10	2.8	0.7 » = 3.5

According to the above the weights per sq. m. of heating surface in the different cases amount to : —

	kg.	Weight of Boiler	Weight of Water	Total Weight
Return flame system . . .	kg.	101.7	211.7	313.4
Through-going flame system . .		100	175	275.0
Schultz Thornycroft » . . .		75	17	92.0
» » » . . .		77.8	19.5	79.3

According to this, the *Dürr* marine boiler has a weight of boiler of 126 kg. and a weight of water of 23.1 kg., or 149.2 kg. in all, for each sq. m. of heating surface, and in view of the not inconsiderable difference in the weights it becomes clear why the water-tube boilers have hitherto found little favour in river vessels. Still less is this the case with the narrow-tube boiler systems of Schultz-Thornycroft, which are so extensively used in war vessels.

One of the demands made upon a steam boiler in the river navigation service is that it shall serve as a sufficient reservoir of heat, so that it may at any time be ready to meet a sudden requirement as regards steam when stoppages or difficulties occur during the passage of the vessel. The greater the water space in such case, the greater is the reservoir of heat. Thus when a considerable quantity of steam is taken from the boiler, an automatic evaporation of the water in the heated boiler takes place. Conversely when less steam is taken from the boiler, as for instance when the vessel stops or steams slowly, an increased storage of heat takes place in the water. It follows from this that the water in the boiler is a regulator which works the more reliably the greater its quantity. Water-tube boilers are, accordingly, less favoured for Inland Navigation, because the principal requirement, above mentioned, — that of large heat storage — is wanting in them.

In cases in which the cost of fuel is of less consequence than economy of space and weight of the equipped vessel, the firing of the boiler with liquid stuffs may here be mentioned. Technically perfect designs have been produced by the help of the excellent centrifugal and steam diffusing appliances invented for this purpose by Gebr. Körting of Hanover, and it is worthy of notice that the fatiguing firing of the boiler here falls away, so that for large installations a considerable saving in firemen's wages can be effected.

In ordinary service such as that in river navigation a consumption 0.75 cbm of petroleum per 10,000 calories has been attained, and 1 cbm. of this material weighs about as much as 1 cbm. of good boiler coal giving 7,500 units of heat.

If the weights still cannot be got into the displacement at disposal, a reduction of the weight of the vessel can often be rendered possible by a design of her hull in which the longitudinal strength is provided by means of lattice work, so that the bottom and side plating can be made specially light. A vessel of this kind, called the « *Germania* » was built by the author in

1884 in Stettin, as a side-wheel steamer of 250 I. H. P. with dimensions of :— length = 45.5 m., breadth 5.4 m., depth under the middle deck 2.15 m., depth moulded 1.2 m., draught with 1.5 tons of coal 575 to 590 mm. The equipped weight of the hull in tons was = length \times breadth \times depth moulded \times 0.108. This was before the days of the Kaiser Wilhelm Canal and the vessel made the sea voyage under her own steam through the Limfjord in North Jutland and passed without damage through the North Sea to Bremen, from which centre it has since then done its duty for the Weser Mühl. Although the plating which was of best Siemens-Martin steel was only from 3 to 4 mm. thick and the vessel on the Stettiner Haff met with a strong breeze which threw up short high waves, she showed herself so reliable that the appliances fitted for the recording of deformations of her form did not shew a trace of these. Worthy of note in this rather long vessel was the auxiliary rudder fitted to improve the steering in narrow and tortuous waterways. When not required this can temporarily be lifted out of the water and hung to the side of the vessel.

Where breadth of stream or small bridges or locks do not admit of the use of side-wheels, recourse will have to be had to stern-wheels again, and it will very often be possible to attain first rate results with these, as is shown by the constant increase in their numbers, for instance on the Oder.

A stern-wheel tug-steamer, which was built in 1885 by the Schiffs- und Maschinenbau Aktien Gesellschaft, of Mannheim, has the following principal dimensions : —

Length extreme, over the paddle-box	58 m.
Breadth extreme, in the paddle-box	5.5 m.
Depth moulded	1.0 m.
Depth at middle of vessel	2.0 m.

Draught in equipped condition and with 9 tons of coal on board = 450 mm. Towing capacity 3,500 cwts, in three wooden barges at 4 kilom. per hour against the stream (on the Main). The engine indicated 180 H. P. The boiler had 64 sq. m. of grate surface for 7 Atm. pressure (above). Another stern-wheel vessel lately turned out by the Cäsar Wollheim Yard and containing some noteworthy novelties is given in Fig. 2 of Plate 2.

Of exceptional interest is the question of the performance of the screw boats with the screw in a tunnel or with a built-over stern. In these vessels also the principal point is the small draught, and it is claimed that relatively large power can thus

be imparted to the screw and considerable energy transferred from the latter to the water. So early as in 1856 the Englishman, John Buchanan, took out a patent for a design of a steam boat the otherwise very flat bottom of which, at about the middle of the length, he had arranged in tunnel form. The tunnel which had vertical sides rose obliquely from the forward and after ends respectively to the highest point situated in the middle, where a screw was mounted on a horizontal shaft.

With this arrangement he wished to render possible the adoption of a larger screw, than was otherwise possible at the unprotected after end of the boat. The intention was, during the forward movement of the vessel to cause the water to rise high into the tunnel and thus supply the screw with a sufficiency of water. It must be considered strange that this system received so little attention, and that it was adopted by only a few shipbuilders, for after the screw had been removed to the after end and the stern in way of it arranged in the form of a tunnel the vessel was, as far as its inner spaces were concerned, exactly like an ordinary screw vessel, and the somewhat ugly stern was not so objectionable as to form a deciding factor.

In England the torpedo-boat firm of Thornycroft in the year 1875 built a completely satisfactory boat of this kind for the Nile, and has since then continued to make use of and to improve the system.

In Germany the ship and boat building yard of R. Holtz, of Harburg, was the first to make use of the system and they also made several improvements in it. Thus, amongst other things, the guide-blades were introduced by means of which the water is intended to be led in an efficient manner to the screws. If the system still has not come into general use, especially for shallow waters, this may be due to the circumstance that in default of reliable data as to the performances attained a feeling of uncertainty existed, which indeed was justifiable enough when the shipbuilder was asked to guarantee definite performances in regard to speed or towing power in such waters.

In case of failure a boat of the kind would be almost worthless, and it was no wonder that increased caution was necessary in the choice of this system. In the year 1902 the author had occasion to build a boat of this kind for the well-known mining firm of Grün & Bilfinger, of Mannheim, which was to be used in connection with harbour works and dredging operations, and in shallow waters, and was moreover, to tow heavy vessels.

The style of build of this boat « Liselotte » may be seen in Fig. 1 of Plate III, and its principal dimensions are as follows :

Length between stem and sternpost	23.6 m.
Depth moulded	2.2 m.
Diameter of the screw	1.7 m.
Breadth moulded	5.0 m.
Draught with 5 tons of coal	1.2 m.

Speed as a mean of up-stream and down-stream journeys 15 kilom. with 250 I. H. P. Towing power on the rope 2.600 kg. with a speed of 11 kilometres.

When it is considered that with the available draught of only 1.2 m. an ordinary screw steamer of only 100 to at most 130 I.H.P. could suitably have been adopted, against the 250 I.H.P. which in the case could be made fully available, it will be apparent that there is every reason for satisfaction with the result achieved and justification for the prediction of the extended adoption of the tunnel system.

In reference to the stern of the boat « Liselotte » it is worthy of note that it lies in the water only at the sides of the vessel up to a point close abaft the screw : that the after end does not, as is generally the case, reach down to the same depth, but remains above the water. This is intended to provide a better escape of the water churned up and thrown back by the screw and, in thus reducing the resistance, to give a higher speed when the vessel is steaming free. It has proved completely successful, and moreover the unpleasant subsidiary effect of the sucking down of the stern does not shew itself, but there is even a tendency to raise the latter.

This, it may be observed, is of special advantage, for by reason of the sucking down of the stern in shallow water the use of ordinary screws, and still more that of stern-wheel steamers, has often proved simply impossible. In this style of build the point will be to lead the water to the screw by means of finely modelling of the boat, by which, it is true, a diminution of the displacement results, but the same requirement is made for all other screws, and the choice of full forms of stern in such boats is altogether wrong.

Amongst other doubtful questions was that as to how the screw in the tunnel would act when the vessel went astern. No action, however, that could endanger the success of the manoeuvre could be observed. If the vessel be viewed in a state of rest, i. e. when lying still, the water in the tunnel of course stands

at the same height as that without the latter. If however the screw be caused rapidly to revolve, the air is driven out of the tunnel and the latter naturally becomes filled with water. If with the stern projecting aft above the water air could always enter during the backward strokes of the screw, the latter might very easily fail to act, or its action could at least be greatly impaired. This however did not take place. To enable a knowledge to be obtained of the behaviour of the water in the tunnel and as to how high the water would rise in the latter during the motion of the vessel, a shaft of suitable height which could be closed watertight was arranged just above the screw. In regard to steering qualities also this vessel showed no less excellent results than do vessels of the same size of ordinary build. When, then I add that at the towing trial trips the performance was measured by means of the dynamometer, I may express my opinion that this style of build seems really destined to fulfill many a requirement of shallow-water navigation, and even to render possible many a service in places in which it was, by reason of want of sufficient water and of clear height above the water, an impossibility. Another boat on the same system was subsequently built by the Schiffs- & Maschinenbau-Actien-Gesellschaft, of Mannheim, intended for the towage of dredger craft on the shallow and narrow Lippe, and was put on service with the best results.

We showed above that for an ordinary screw a draught of 60 ctm. admitted at most of an engine of 30 H. P. : in this boat we have an engine of 50 H. P. which can be fully utilized.

In connection with the building of these boats the first of which was begun in the middle of the year 1902 Mr. A. F. Yarrow, the Vice-President of the Institution of Naval Architects in a paper read in 1903 also advocated the drawing up of the last stern wheel. Also he made exhaustive experiments in the same direction, as a result of which he came to the same conclusion viz. that by means of the strong sternward rush of the water the air was in any case shut in and could not therefore find ingress to the tunnel. A large number of screw boats of this construction have already been built by the Yarrow Shipbuilding and Engineering Co. Ltd. and according to the reports of the firm they have fulfilled all requirements made of them. Worthy of special note are the gunboats built by them, which even with the shallowest of draughts have attained high rates of speed.

Recently also a gunboat for the German Navy intended for

Chinese river service has been designed by the firm of F. Schichau, in Elbing, and has given satisfaction.

Highly interesting experiments have been made by Mr. Yarrow with tunnel-screw boats. The boat was fitted at the after end of the tunnel with a flap which turned upon a horizontal axis and could at will be set about horizontal or at an angle. With this it is claimed that even with the boat in light condition, i. e. with the tunnel standing relatively high above the water, the air can be kept out. In the loaded condition of the boat the flap was unnecessary and was therefore set horizontally.

A further interesting experiment was made with a boat which in deference to the navigable section received the dimensions :— length 24.38, breadth 4.42, minimum draught 0.533 m., with a displacement of 40 tons. Each of the two screws was driven by high pressure engines of 0.254 m. dia. of cyl. and 0.254 m. stroke. The boat was built, for the Trent Navigation Company, which had had great difficulty in obtaining powerful tug-boats, side-wheel vessels having been found too broad, while twin-screw boats and a stern-wheel steamer had done too little work. The tunnel-screw steamer « Little John » was accordingly built as an experimental boat and, after having been several months on service, was found suitable for the towing purposes required.

The towing performance was compared by the engineer, Mr. Ragner, with that of the side-wheel tug « Robin Hood » which the Company had placed on service on the lower reach of the river and of which the principal dimensions were :—

Length 38.888 m., breadth over the paddle-boxes 7.315 m., draught 0.914 m. The displacement was about 55 tons and the vessel had 3 cylinders each 45 mm. in diameter and 685 mm. stroke (with condensation) and wheels 2.793 m. in dia. with floats 1.180 m. in breadth.

The two hulls compared very well with one another.

The following table gives the results which have been obtained in regard to the trials :—

Name of Boat	Indicated Horse Power	Strain the Towrope	Horse Power on the Towrope	Percentage of the engine Power obtained in the Towrope	Speed in knots per Hour
« Robin Hood » . . . {	90.2	2.314	31.6	35.0	5.12
(Side-Wheel Vessel) . }	49.98	1.741	20.0	40.0	4.31
« Little John » . . . {	118.24	2.901	44.1	37.3	5.70
(Tunnel-Screw Vessel). }	99.37	2.321	32.3	31.2	5.22
	16.97	1.823	21.3	31.1	4.38

From these and other trials it was apparent that almost the same proportion of power was in each vessel available for towage. At the lower speeds the paddle boat shewed a better performance than the tunnel-screw boat, the latter having the advantage at the higher speeds. When it is considered that the paddle boat has a draught of 914 mm. and the tunnel-screw boat one of only 533 mm., while on account of its broad paddle-boxes the former cannot be used on the upper reaches of the river an exceptional and highly noteworthy superiority of the tunnel-boat becomes apparent.

In connection with the above the circumstance must not be forgotten (which indeed had already become apparent in boats built on the same system in Mannheim) that damage can hardly be done to the bottom and banks of the stream. The stream of water stirred up by the tunnel-screws flows away exactly in the wake of the vessel, i. e. in the direction of the river, because it is kept in and guided by the tunnel walls. In the case of free-lying screws such damage is unavoidable. According to the above the use of tunnel-screws on shallow and narrow waters shews itself to be very advantageous, and this is no less the case in canals with soft beds and banks.

The question as to the power required to tow certain vessels which are exactly known and the drawings of which are to hand at a certain speed on a deep and almost unbounded expanse of currentless water is not always a simple one that can be answered without the making of comparisons. It will probably never be settled on purely theoretical grounds for the towing of vessels on narrow waters, and experience may here be said to be the best teacher. A succession of measurements on the tow-rope will first have to be made before we can obtain a reliable insight into the resistances which occur in the various reaches of a river and have to be overcome in the propulsion of vessels. The manner in which such resistances, as seen in the strain on the tow-rope, vary and often increase within short stretches of a waterway, is evident from the dynamometrical results obtained from towing experiments made on the Upper Rhine, which are set off in diagrammatic form and shown in Figures 1 to 3 of Plate IV. A short unnecessary turn of the rudder, or a sand bank suddenly met with during the voyage and not given a wide enough berth will in a moment cause the pointer of the dynamometer to fly up, and it is not easy to obtain from such measurements a correct mean which will be suitable for all circumstances, since the latter become different for every variation in

level of the water. Such diagramms of course shew more regular lines when made from runs on broad expanses of water, and attention may here be directed to the results of towing experiments made with the « Badenia X » built by the Mannheimer Schiffswerft, on the excellent stretch of water between Mainz and Mannheim. These are given in Figure 4 of Plate IV. In these diagrams everything is given which is necessary for the formation of a clear judgement on the towing performance.

On the horizontal base line are set off the times of observation, serving also as the stations for the ordinates, on which we find the numbers of the kilometer stones on the bank, so that the speed of towing can be read off without further ado. Also there is to be found the cut-off of the high-pressure cylinder at each point expressed as a percentage of the steam pressure in the boiler given by the manometer, the number of revolutions of the screw shaft, and finally the reading of the strain observed in the towrope according to the scale of the dynamometer. If in addition the angle of inclination of the water at each point be set off such a table will, as regards clearness, leave nothing to be desired. Particular care must be taken that only the results of thoroughly reliable measurements be here set off, since incorrect or in the least degree questionable figures may on occasion be the cause of untold harm.

The too narrow limits allowed for this report do not admit of an even approximately complete answer being given to the long title-question. In deference then to the inexorable «Must» it will be necessary to leave undiscussed the question of the power requirements of free-moving, towing, and towed vessels, to refrain from treating of the reaction-propeller vessels, the chain and rope-steamers, the steam turbines and the influence they will exercise in the time coming, and finally of the whole motor question in connection with navigation and of the still more important question of their success, their justification and their further development (1).

Unquestionably our time has merged out of an earlier state of working only by experience and weighing every new departure with the greatest caution and is assuming a quicker pace in the

(1) Also the illustrations or sketches of the vessel referred to in this report and of their engines, boilers, and systems of propulsion, the originals of which were in part in the possession of the author and have in part been readily supplied by others. To these latter Gentlemen thanks are here accorded.

exploration and development of every question connected with navigation and not last with river navigation.

In all peoples engaged in navigation the number of professional men enrolled in the service of this art and working with the powerful aids of the higher branches of special knowledge is constantly increasing, and each worker no longer narrowly-mindedly withholds the knowledge of his successes from the rest of the profession. The professional men of all nations, however, who have given their services to the questions herein treated of, ask for freedom for the exercise of human knowledge, ability, and production — has not the victor in this peaceful struggle between the nations to expect the prize of the realization of the words of Napoléon : —

Le trident de Neptune, c'est le sceptre du monde.

R. BLÜMCKE.

PERMANENT INTERNATIONAL ASSOCIATION
OF
NAVIGATION CONGRESSES

X. CONGRESS - MILAN - 1905

I. Section ; Inland Navigation
4. Question

REPORT
BY
R. BLÜMCKE

PLATE 1.

PERMANENT INTERNATIONAL ASSOCIATION

OF

NAVIGATION CONGRESSES

X. CONGRESS - MILAN - 1903

I. Section - Inland Navigation

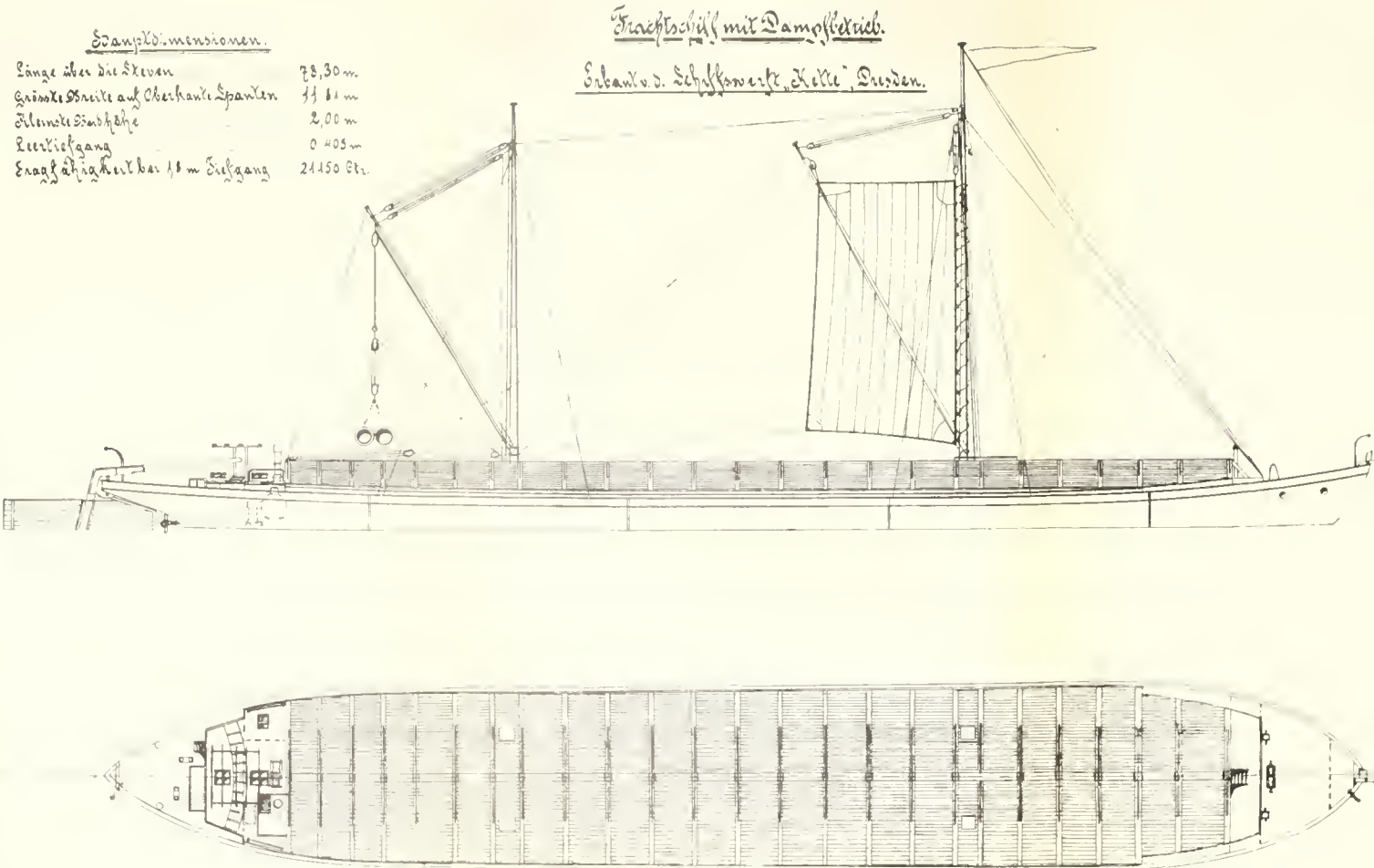
4. Question

REPORT

by

R. BLÜMCKE

PLATE I

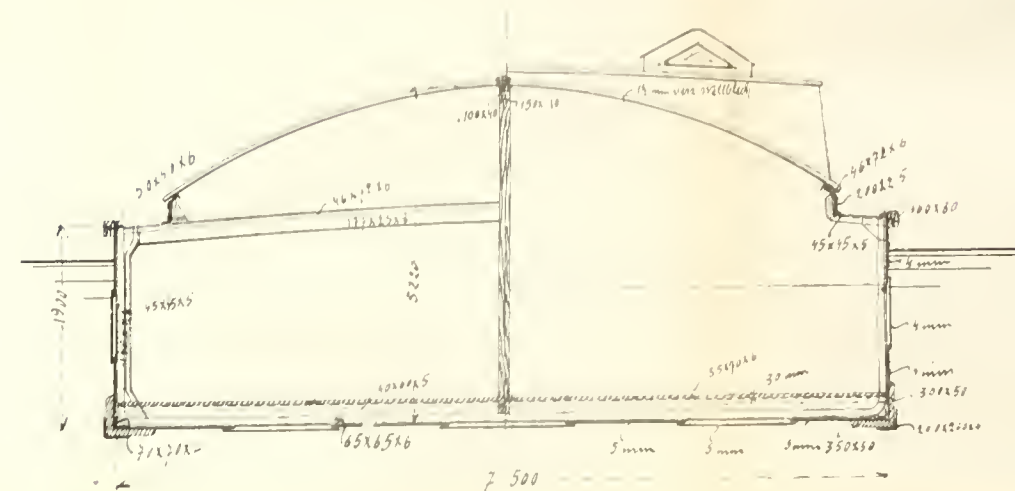


Hauptpunkt des stähl. Frachtschiffes „Wien“ der Werstmühle F. W. Oleyer, in Hammeln.

Bau v. d. Schiffswerft „Kette“ - Dresden.

Hauptdimensionen.

Länge i. d. Wasserlinie	= 55,00 m.
Breite " " "	= 7,50 "
Stützbohlenhöhe	= 1,90 m.
Leertiefgang ohne Bodenaufbauten	= 0,23 "
Tragfähigkeit bei 1,50 m Tiefgang	= 9220 Ctr.



PERMANENT INTERNATIONAL ASSOCIATION
OF
NAVIGATION CONGRESSES

X. CONGRESS - MILAN - 1905

I. Section : Inland Navigation
4. Question

REPORT
BY
R. BLÜMCKE

PLATE II.

PERMANENT INTERNATIONAL ASSOCIATION
OF
NAVIGATION CONGRESSES

X. CONGRESS - MILAN - 1903

I Section : Inland Navigation
4 Question

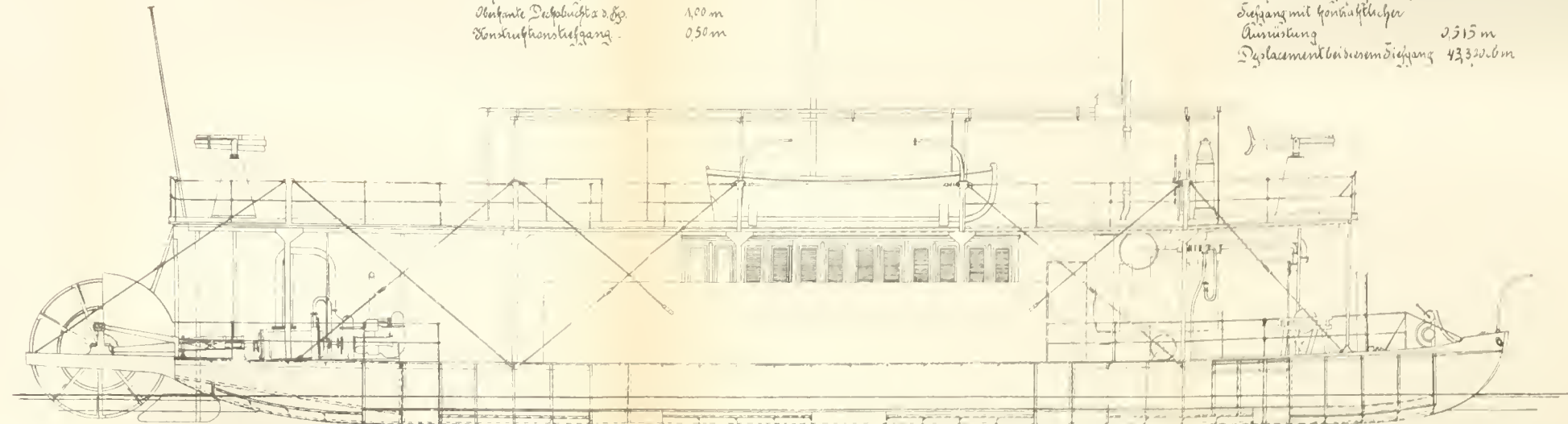
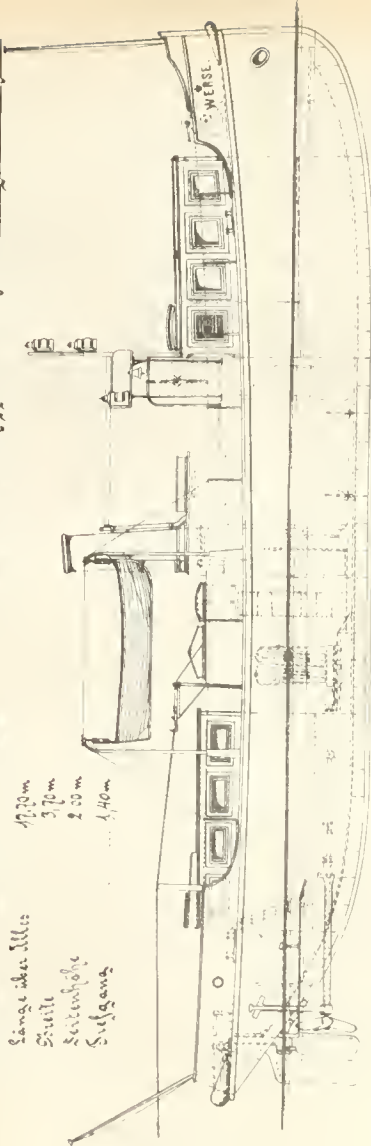
REPORT
BY
R. BLÜMCKE

PLATE II.

Schlepp- und Dampfschiff - "Dietrich".

Länge über Alles 17,70 m
Breite 3,70 m
Seitenhöhe 2,30 m
Tiefgang 1,40 m

Entwurf von die Schiffbau Maschinenbau A.G., Mannheim.



„Eoden“ Hinteradflurdamper für Kammern.

Entwurf von Joseph L. Höcher, Sappenburg.

Länge im Deck ohne Radkasten 24,00 m
" " " mit " " 26,70 m
" in der Wasserkante 22,80 m
Größte Breite auf dem Decken 4,75 m
Höhe von den Bodenplatten bis
oberste Deckenlichte d. Dg. 1,00 m
Konstruktions-Tiefgang 0,50 m

Displacement bei vollen Trophäen
und Wasser im Bassel 4370,0 m
Inhalt des Dampfzylinders 2,300 qm
Maschinenleistung ohne Feuer 05 HP
Tiefgang mit konstruktiver
Ausstattung 0,515 m
Displacement bei diesem Tiefgang 43320,0 m

PERMANENT INTERNATIONAL ASSOCIATION
OF
NAVIGATION CONGRESSES

X. CONGRESS - MILAN - 1905

I. Section : Inland Navigation
4. Question

REPORT
BY
R. BLÜMCKE

PLATE III.

PERMANENT INTERNATIONAL ASSOCIATION

OF
NAVIGATION CONGRESSES

X. CONGRESS - MILAN - 1903

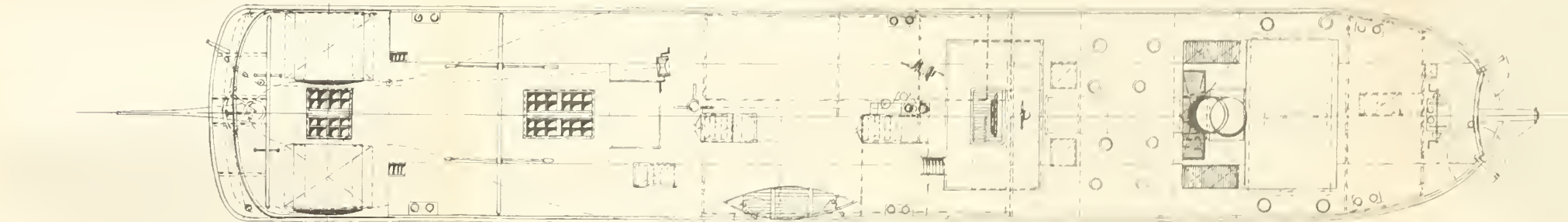
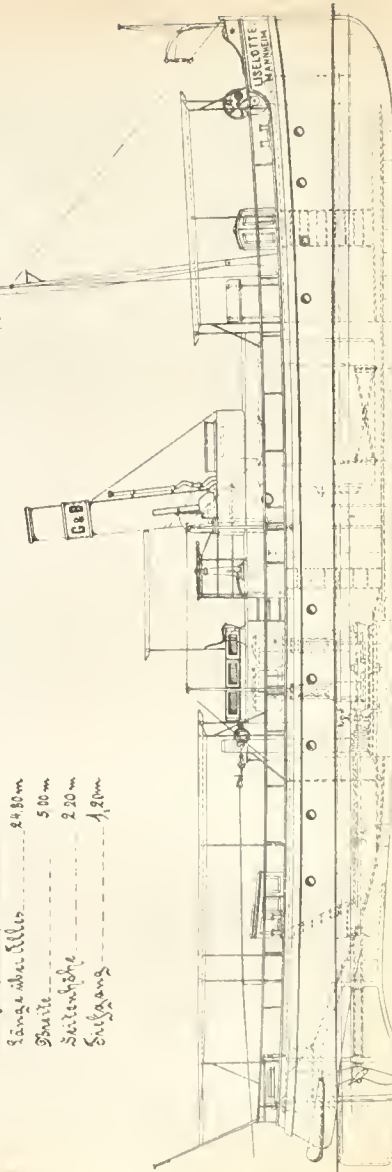
I Section Inland Navigation
4 Question

REPORT
BY
R. BLÜMCKE

PLATE III.

Schleppdampfer „Liselotte“.
Länge über Alles 40,00 m
Breite 7,84 m
Seitenhöhe 2,25 m
Tiefgang 0,90 m

Ge baut v. d. Schiffbau-Anstalt in Cöpenhagen.

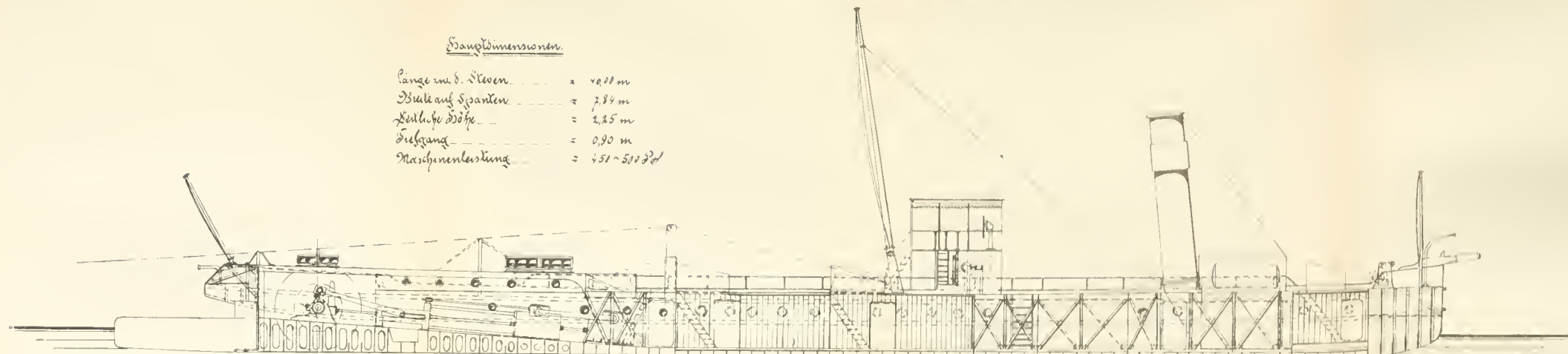


Hauptdimensionen.

Länge im d. Steven 40,00 m
Breite auf Spanlen 7,84 m
Seitenhöhe 2,25 m
Tiefgang 0,90 m
Maschinenleistung 451 ~ 500 PS

Einweid.-d. Schleppdampfer.

Ge baut von Casar Hohlheim, Cosel bei Breslau.



PERMANENT INTERNATIONAL ASSOCIATION
OF
NAVIGATION CONGRESSES

X. CONGRESS - MILAN - 1905

I. Section : Inland Navigation
4. Question

REPORT
BY
R. BLÜMCKE

PLATE IV.

X. CONGRESS - MILAN - 1903

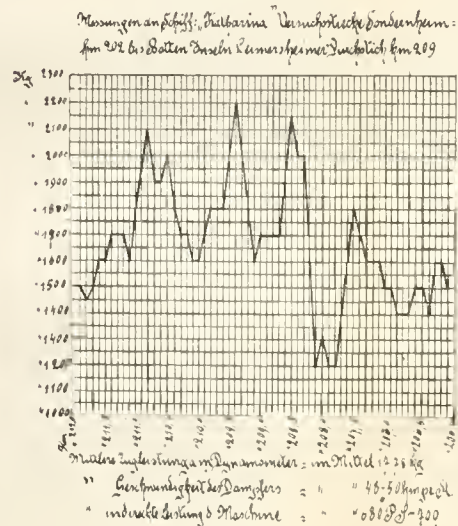
1 Section Inland Navigation
4 Question

REPORT
BY
R. BLÜMCKE
WITH A
PLATE IV

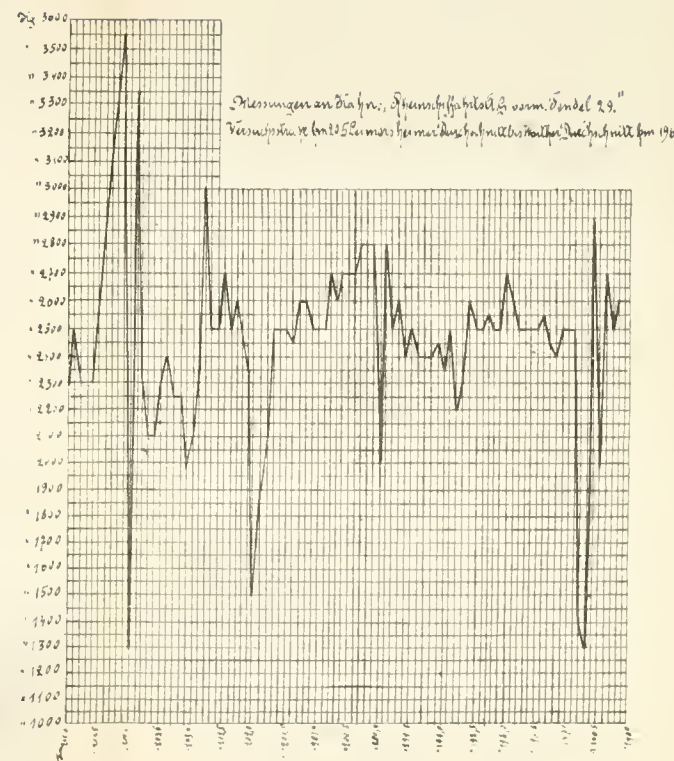
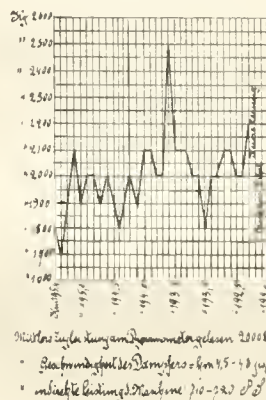
Wasserstand Mannheim = 4,35 m

Schlagversuche, Stadt Straßburg Nr. 1 am 7. 5. 04. Mannh. Straßb.

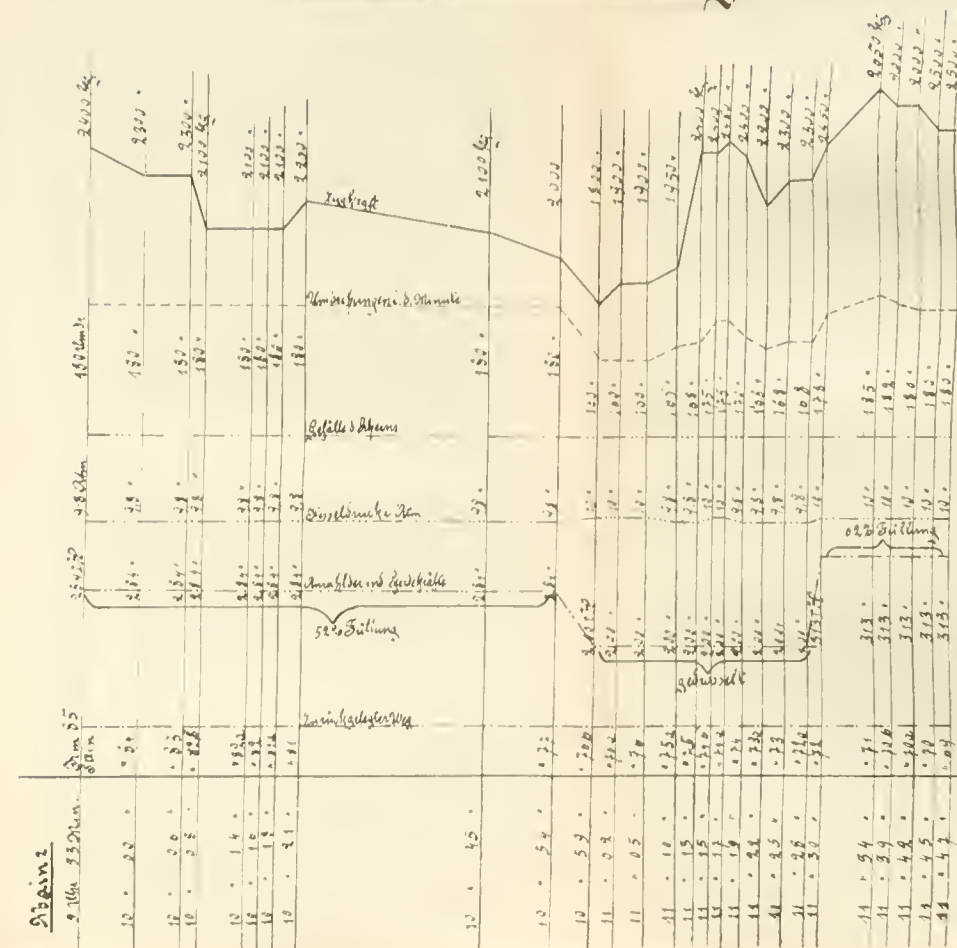
Anhang: Anna Daxharina Ladung = 9000 Kr. Diefz 1,5 m Ladefähigkeit 123400 Kr. Diefz. 2 m
 Karl Robert. " = 10300 " " 1,5 " " 15296 " " 2,1 "
 Nr. 29 " = 20000 " " 1,92 " " 33400 " " 2,7 m



Messungen am Gehirn: "Hans Robert".
Versuchsreihe vom 14.5. 1921 über 25 Grundversuche
1921 Maxauer Bahnhofs-Entscheidung 1922



Padenia X. I. Versuch.
Beide Klähne an einem Strang.



627.06
INR
1905

ASSOCIATION INTERNATIONALE PERMANENTE
DES
CONGRÈS DE NAVIGATION

X^e CONGRÈS - MILAN - 1905

I. Section : Navigation Intérieure
4. Question

DÉVELOPPEMENT

DE LA

Navigation intérieure au moyen de bateaux à petit tirant d'eau

MODE DE CONSTRUCTION ET MOTEURS

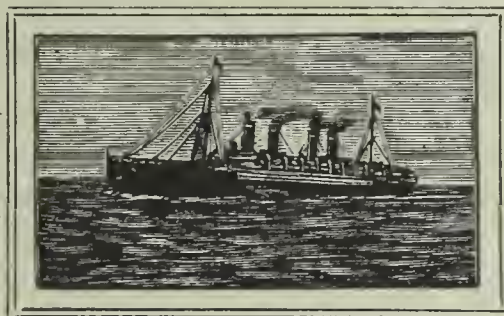
RAPPORT

PAR

M. R. BLÜMCKE

Directeur de la « Société anonyme de Construction de Navires et de Machines », à Mannheim

NAVIGARE



NECESSE

BRUXELLES

IMPRIMERIE DES TRAVAUX PUBLICS (SOCIÉTÉ ANONYME)

18, Rue des Trois-Têtes, 18

1905

Développement de la Navigation au moyen de bateaux à faible tirant d'eau ; leurs modes de construction et leurs appareils de propulsion.

RAPPORT

PAR

Richard BLÜMCKE

Directeur de la « Société anonyme de Construction de Navires et de Machines »
à Mannheim

La question du développement de la navigation en général, ainsi que de celle au moyen de bateaux à faible tirant d'eau, amène à jeter tout d'abord un coup d'œil rétrospectif sur les origines de toute navigation ; et en feuilletant le livre de l'Histoire, on est forcé de convenir que l'art de la construction des navires avait atteint un développement remarquable dans l'antiquité classique, déjà même à l'époque des Egyptiens, dont l'histoire remonte à 10,000 ans avant l'ère chrétienne. Ceux-ci s'entendaient déjà, ainsi que l'ont montré les dessins des ruines monumentales des tombeaux de Thèbes, à construire leurs bateaux en les constituant d'une carcasse recouverte d'un bordage en roseaux de papyrus, puis en cuir et plus tard en bois. Ils s'entendaient à les actionner par des rames, ainsi que par la force du vent au moyen de voiles ; et l'emploi du gouvernail pour en assurer la direction leur était familier. Quelle étonnante étape parcourue déjà, depuis le premier radeau grossièrement assemblé, depuis le premier tronc d'arbre creusé au feu.

L'histoire nous enseigne encore que l'art de la construction des navires tire son origine de la navigation intérieure chez les Egyptiens, c'est-à-dire de la navigation sur le Nil. Elle nous apprend que malgré la diversité des sortes de navires et de leurs dimensions (1), on parvenait à satisfaire aux exigences particulières de chaque cas,

(1) Ptolémée Philopatos (241-204 avant Jésus-Christ), fit construire une galère à 40 rangées de rames, laquelle, d'après Graser « *de veterum re navali* » avait 128 mètres de longueur, 23 m. 1 de largeur et 19 m. 5 de hauteur avec un tirant d'eau de 6 mètres.

bien que les matériaux de construction restassent les mêmes, ainsi que, dans ses lignes essentielles, l'art d'assembler ces matériaux pour en former le corps du navire. C'est chez les Egyptiens qu'on rencontre les premiers bateaux à faible tirant d'eau, lequel était expressément réalisé. Wilkinson, dans « A popular account of the ancient Egyptians » Londres 1854, écrit au sujet de semblables navires : « Il est probable qu'ils présentaient un faible tirant d'eau, dans le but d'éviter les bancs de sable ; et leur forme devait encore leur permettre, au cas où ils se fussent échoués sur pareil banc, de s'en dégager plus facilement ». De fait, si nous devons en juger d'après les reproductions, ces bateaux paraissent avoir été à fond plat.

Des milliers d'années plus tard fut découvert le moyen de naviguer à la voile à l'encontre du vent, en louvoyant. Dans l'intervalle se rencontrent en 263, avant Jésus-Christ, la première roue à palette, et 1500 ans plus tard la boussole. Quant à la construction des navires, elle n'avait fait pour ainsi dire aucun progrès ; on s'appuyait uniquement sur l'expérience, si souvent fondée sur des observations inexactes, si souvent acquise au prix de la vie humaine.

*Nature and nature's laws lay hid in night,
God said : let Newton be — and all was light.*

Ces paroles pleines de fierté, qui honorent l'homme ainsi que sa patrie, cette inscription gravée sur la maison natale du grand savant anglais, est également justifiée au point de vue de l'art de la construction des navires. Newton établit en effet cette loi : *La résistance au mouvement d'un corps plongé dans un fluide croît proportionnellement au carré de la vitesse*. La première théorie fondamentale était ainsi posée ; mais elle ne put être mise en pratique qu'avec l'invention des machines à vapeur.

Il est historiquement établi (1) que le 27 septembre 1707 Papin accomplit sur la Fulda (il était alors professeur de physique à Marbourg) le trajet de Kassel à Munden à l'aide de son bateau à vapeur ; on sait aussi qu'il avait l'intention de descendre le Weser et de gagner l'Angleterre par la mer du Nord. Le bateau de Papin, dont la machine était probablement une machine hydraulique Savery perfectionnée, fut détruit, victime de la jalousie des mariniers du Weser ; mais le fait n'en subsiste pas moins, que le premier bateau à vapeur a été un bateau fluvial et qu'il a navigué sur un fleuve allemand. Nous ne ferons que citer les noms des inventeurs suivants,

(1) RUHLMANN, *Notizblatt des Architekten und Ingenieur-Vereins für das Königreich, Hannover* 1857 : Correspondance entre Papin et Leibnitz sur ce sujet.

ayant eu plus ou moins de succès dans le même domaine : les Anglais : Jonathan Hull, 1736, Patrik Miller 1788, J. Fitch 1783 ; les Français : comte d'Auxiron 1774, Périer 1775, marquis de Jouffroy 1776 ; l'Américain Rumsey 1787, lequel utilisa le premier la force de réaction de l'eau chassée hors de tuyaux pour la propulsion de son bateau. Et nous arrivons enfin, d'abord à Symington (avec son bateau à vapeur *Charlotte Dundas* essayé en 1802 sur la Clyde) et ensuite à Robert Fulton, artiste et ingénieur, à ces deux hommes qui dotèrent l'humanité d'une des inventions les plus importantes qui furent jamais faites. Fulton, qui connaissait les résultats partiels de ses prédécesseurs de tous pays, et qui cherchait à éviter adroitement les imperfections de leurs inventions, effectua sur la Seine, au printemps de 1803, son premier trajet d'essai à l'aide de son bateau à vapeur ; et lorsque celui-ci, trop peu solide, se fut brisé, Fulton put encore, la même année, avec un bateau plus puissant, stupéfier le monde entier par l'aisance avec laquelle ce bateau se déplaçait, même contre le courant, et par la facilité avec laquelle toutes les manœuvres nécessaires pouvaient être effectuées. C'est à la date de cet essai, le 9 août 1803, que naquit vraiment la navigation à vapeur.

Jusqu'à cette date avaient toujours été utilisées des roues à aubes, également dans les bateaux à vapeur de Fulton, et aussi dans celui de Symington, lequel bateau présentait une roue à l'arrière. Nous ne pouvons donc pas négliger ici de mentionner le nom d'un homme qui accomplit un haut fait dans le domaine technique, en adaptant à la propulsion des bateaux la vis d'Archimède actionnée par la force de la vapeur. En 1829 donc, l'Autrichien Joseph Ressel (dont le père était originaire de Saxe) fit construire à Trieste, par le constructeur de navires Vincent Zanon, son bateau *Civetta* dont la machine à vapeur venait d'Angleterre, et la vis du mécanicien Herrmann. Ce bateau, d'une longueur de 18 m. 30, d'une largeur de 3 m. 35 et d'une hauteur de 1 m. 82 atteignit, paraît-il, avec les 6 chevaux de force de sa machine, une vitesse de 9 nœuds.

D'après les données de Beuth (1), on construisit en Angleterre jusque 1823 plus de 160 vapeurs. La question des débuts de la navigation fluviale à vapeur sur les fleuves allemands doit nous intéresser également. Les premiers bateaux à vapeur ayant paru en Allemagne sont : d'abord le *Défiance* construit à Londres, muni de deux cylindres horizontaux qui navigua le 12 juin 1816 devant Cologne ; ensuite le vapeur écossais *Lady of the Lake* qui effectua le

(1) Débats de l'« Association pour le développement de l'Industrie en Prusse », 1824.

17 juin 1816 sur l'Elbe ses premières traversées régulières entre Hambourg et Cuxhaven.

Ce ne fut qu'en 1830 que la navigation à vapeur apparut sur le Danube (1) avec le vapeur *Franz I* appartenant à la compagnie de navigation à vapeur du Danube, et dont la machine avait été construite par Balton et Watt.

Les machines à vapeur pratiquement utilisables, les roues à aubes (2) et les hélices avaient fourni aux peuples navigateurs les moyens de faire marcher leurs navires à peu près indépendamment du vent et du mauvais temps, et avaient permis de réaliser une navigation régulière, subordonnée à des durées de temps et à des rendements précis. On possédait dans le fer, bien que dans une mesure très limitée, à cause du peu de développement atteint en ce temps-là par la science du laminage, un élément de construction façonnable sous toutes les formes. Dans de telles conditions, il était inévitable que chaque nouveau bateau devait, d'une manière ou de l'autre, présenter certaines améliorations, d'autant plus qu'un grand nombre de spécialistes capables dirigeaient leurs efforts vers un pareil résultat.

Ces nombreux perfectionnements profitèrent en première ligne aux navires de mer. Toutefois nous trouvons, dans quelques bateaux de fleuve, des résultats tout à fait remarquables. Nous pouvons citer tout d'abord le bateau en fer « Victoria » construit en 1839 à Londres par Ditschburn, lequel bateau présentait une longueur de 58 m., une largeur de 7,01 m. et une hauteur de 2,77 m. pour un tirant d'eau de 0,864 m., et atteignit, avec une machine de 80 chevaux de puissance nominale, une vitesse de 12 milles anglais (3). Ce fut ensuite en 1851 le vapeur « Loreley », construit par Job Smit, d'une longueur de 54,25 m., d'une largeur de 5,638 m. et d'une hauteur de 2,793 m. pour un tirant d'eau de 0 m. 990, qui éleva cette vitesse à 15 milles anglais avec une machine de 80 chevaux construite par Miller à Londres; puis, en 1853, le « Hohenzollern », construit par la même firme Smit, d'une longueur de 67.36 m., d'une largeur de 5.486 m. et d'une hauteur de 2.819 m. pour un tirant d'eau de 1.066 m., qui atteignit une vitesse de 17 milles anglais avec une machine de 110 chevaux.

Mais les bateaux de fleuve les plus rapides furent les vapeurs construits pour la Tamise en 1851 : le « Jupiter » (appartenant à la Star Company) d'une longueur de 55.77 m., d'une largeur de 5.486 m.

(1) SCECHENYI : *Ueber die Donauschiffahrt*, Ofen, 1836.

(2) Le premier brevet anglais sur des roues à palettes mobiles avait déjà été pris en 1813 par le mécanicien Robert Buchanan de Glasgow.

(3) Un mille anglais = 1852 m. = 1 minute de méridien.

et d'une hauteur de 2.895 m., jaugeant 265 tonneaux et possédant une machine de 80 chevaux, atteignit une vitesse de 19 milles anglais; ensuite le vapeur « Mars », construit sur des dimensions analogues, réalisa une vitesse de 19 1/2 milles anglais, chiffre qui constitue un record qu'on n'est pas souvent parvenu à battre jusqu'à ce jour, exception faite des transatlantiques rapides et des torpilleurs.

Les premiers vapeurs qui parurent sur le Rhin étaient munis de machines terrestres ordinaires, et de ce temps-là il n'y avait pas grande diversité dans leur choix, lorsqu'un progrès remarquable résulta de la construction en Angleterre des machines à balanciers avec deux cylindres verticaux à basse pression.

De nouveaux progrès furent ensuite réalisés par les machines à cylindres oscillants, qu'on rencontre encore parfois de nos jours sur l'Oder et l'Elbe supérieurs, mais qui ont disparu sur le Rhin. L'invention des machines *compound* fit également faire un pas énorme au problème. Roentgen, de Fijenoord (Allemand de naissance) peut être considéré comme l'inventeur de ces machines. Déjà en 1826 il transforma plusieurs machines en *machines compound*. Toutefois ce ne fut que lorsque la machine *compound* de Roentgen fut combinée par John Elder avec le condensateur à surface inventé en 1858 par Hall, et lorsque vers la fin de 1860 la hausse des prix du charbon exigea de toute nécessité la mise en œuvre de machines à rendement économique (de ce temps la firme suisse Escher, Wyss & Co construisit spécialement sur ce type des machines modèles très économiques), ce ne fut donc qu'alors que l'on arriva à des machines qui existent encore aujourd'hui, et qui sont toujours de construction courante. Ce ne fut que vers 1890 que l'on commença à construire les machines à triple expansion pour les plus grands vapeurs à aubes, et par-ci par-là également pour les vapeurs à hélices.

Les premières chaudières à vapeur avaient la forme de coffres monstrueux, dont la solidité était fort réduite, malgré l'emploi abondant de tirants qui en rendaient le nettoyage plus difficile; ces chaudières étaient, par conséquent, à faible tension de vapeur. La première chaudière cylindrique pour bateau, construite en Ecosse, présentant un grand tuyau flambeur et des tubes bouilleurs supérieurs qui produisaient un retour de la flamme, réalisa une solidité suffisante pour pouvoir fournir de la vapeur à plus haute tension, permettant ainsi d'obtenir un meilleur rendement. En 1855 on considérait comme normale une pression effective d'une atmosphère dans une chaudière, et vers 1870 deux atmosphères, bien que déjà on utilisât des pressions de 5 et même 6 atmosphères. Aujourd'hui toutefois on ne rencontre plus guère dans les navires des chaudières en service à une pression inférieure à 10 atmosphères; le plus souvent même, cette pression atteint 13 atmosphères et davantage.

Pour établir une relation entre tous ces résultats, on ne peut mieux faire que de comparer les dépenses en poids de charbon nécessitées autrefois et aujourd'hui pour développer une force d'un cheval-vapeur. Cette dépense, pour les machines à basse pression, n'était pas inférieure à 2,25 kg.; elle se réduisit pour les machines à simple expansion à condensateur par surface à 1,2 kg.; pour les machines compound à 0,9 kg., et pour les machines à triple expansion (1) à 0.8 kg. et même à 0.7 kg. Ce dernier résultat fut d'ailleurs également obtenu avec les machines compound à deux cylindres par l'emploi de vapeur surchauffée.

D'après la *Statistique de la navigation sur le Rhin* (14^{me} année), le matériel de ce fleuve comportait 160 bateaux à roues et 1,006 bateaux à hélices, ayant respectivement les puissances de 95,226 et 151,835 chevaux, au total donc 1,166 vapeurs développant 247,061 chevaux de force.

A côté de ces données sur le nombre actuel des vapeurs circulant sur le Rhin, et sur la force totale de leurs machines, le tableau ci-dessous n'est pas dépourvu d'intérêt; il montre la lente progression du nombre des machines pour bateaux, en Prusse, depuis 1837 jusque vers le milieu du siècle dernier.

Année	Machines terrestres fixes	Force en chevaux	Machines de bateau	Force en chevaux	Locomo- tives	Force en chevaux	TOTAUX	
							Machines	Force en chevaux
1837	419	3356	4	158	—	—	423	3514
1840	615	11713	6	226	13	340	634	12279
1843	862	16496	79	3869	149	6867	1090	27241
1846	1130	21716	77	4737	275	14677	1491	41130
1849	1445	29483	90	9319	429	28348	1964	67158
1852	2124	43049	102	9232	607	40191	2833	92476
1855	3049	61945	123	10907	913	88922	4085	161774
1862	—	—	—	—	—	—	8653	365707

L'accroissement ultérieur du nombre des machines à vapeur ne nous intéresse que pour autant qu'il soit question de machines pour bateaux, et spécialement de machines pour bateaux fluviaux. Nous trouvons dans la *Statistische Correspondenz*, en annexe à l'ouvrage fondamental de Ernest Engels, *Das Zeitalter des Dampfes*, des relevés annuels, dans lesquels on n'a établi une distinction entre les bateaux de navigation maritime et ceux de navigation intérieure

(1) Les machines à quadruple expansion, qui, pour les navires de mer en travail continu, ne nécessitent que 0,68 kg. de charbon, n'ont pas été appliquées aux bateaux fluviaux.

que depuis 1890 seulement. Le tableau ci-après donne les chiffres en détail.

Il existait en Prusse :

Au		Nombre de bateaux de navigation intérieure		Nombre des machines		Force en chevaux.	
1 ^{er} janv. 1879	. .	609	Y compris les navires de mer	623	Y compris les navires de mer	50,309	Y compris les navires de mer
" 1884	. .	—		906		—	
" 1885	. .	993		1,048		101,349	
" 1886	. .	—		1,114		—	
" 1887	. .	1,126		1,172		—	
" 1888	. .	1,186		1,246		132,119	
" 1889	. .	1,590		1,674		154,199	
" 1890	. .	—		2,007		176,601	
" 1891	. .	1,077		1,844		96,025	
" 1892	. .	1,128		1,978		107,915	
" 1893	. .	1,195		1,285		115,741	
" 1894	. .	1,240		1,338		104,616	
" 1895	. .	—		1,465		135,985	
" 1896	. .	—		1,513		139,568	
" 1897	. .	1,495		1,642		153,012	
" 1898	. .	1,548		1,708		160,982	
1 ^{er} avril 1899	. .	1,606		1,761		176,403	
" 1900	. .	1,696		1,889		193,770	
" 1901	. .	1,738		1,928		202,218	
" 1902	. .	1,757		1,946		196,186	
" 1903	. .	1,814		2,018		207,586	
" 1904	. .	1,827		2,034		218,850	

Nous n'avons pas, dans ce mémoire, à faire mention de toutes les inventions parues, ayant pour but d'améliorer la navigation. Nous passerons donc sous silence les nombreux types de grilles brevetées; les épouvantables tirages forcés qui transformaient les tuyaux de flamme en forges, et détruisaient les meilleures chaudières; les innombrables appareils fumivores, qui consumaient tous beaucoup de vapeur. Nous ne parlerons pas des multiples inventions relatives à des appareils de propulsion de toute espèce; nées aujourd'hui et tombées le lendemain dans un oubli à peine honorable, ces inventions étaient en nombre à peu près aussi grand que celui des constructions, et avaient trait, soit aux hélices, soit aux roues et à leurs aubes. Chaque jour, pour ainsi dire, amenait une nouvelle découverte dont heureusement l'application était peu pratique, car les constructeurs

de navires eussent été fort à plaindre s'ils avaient dû faire l'essai et l'application de toutes les sottises inventées.

Le but de ces lignes doit être plutôt de montrer jusqu'à quel degré il a été possible, au moyen des éléments reconnus bons et utiles, de faire de la navigation un instrument principal de trafic même là où cette navigation rencontrait le pire de ses adversaires : le manque d'eau ; là donc où les dimensions usuelles et les formes ordinaires des bateaux ne s'adaptaient plus, étant donné qu'il fallait réaliser, d'une part, la condition obligée d'un poids réduit pour le bateau, celui-ci devant toutefois offrir une sécurité suffisante ; d'autre part, la condition de la rapidité de la manœuvre.

Le problème se résoudrait facilement, si l'adversaire précité se présentait seul. Mais la plupart du temps, aux endroits où le manque d'eau crée de sérieux obstacles à la navigation, il faut encore surmonter d'autres difficultés. Ce sont principalement : la violence du courant, dans le cours supérieur des fleuves alimentés par les eaux de montagnes ; le nombre et l'accentuation des sinuosités ; la diminution de section du lit occasionnée par des rochers, des digues, des quais et des piles de pont ; le peu de longueur et de largeur des écluses. Enfin nous citerons encore l'élévation réduite des ponts, économie mal comprise, laquelle, de notre temps encore (qu'on se souvienne des 2 m. de hauteur libre des ponts du Danube supérieur), laisse subsister, à l'encontre d'une navigation libre, des barrières fixes, encore plus gênantes que les droits d'entrée et les impôts qui pressuraient la navigation de jadis, si étroitement entravée.

A vaincre sans péril, on triomphe sans gloire, dit le proverbe. De fait on est parvenu, dans une certaine mesure, en progressant avec prudence, à triompher de tous ces obstacles, tout au moins là où la navigation était vraiment une nécessité, là où elle était de bon rapport et par conséquent économiquement justifiée.

Si nous considérons dans son ensemble le matériel de navigation construit dans pareil but, nous devons établir une distinction entre les bateaux à vapeur et les chalands, et subdiviser les premiers en bateaux qui naviguent librement en transportant des passagers ou des marchandises, et en bateaux qui sont destinés à en haler d'autres.

Chalands.

« Tel pays, tel peuple et tel caractère ». On peut dire également que les bateaux se façonnent et s'approprient à un fleuve et à ses particularités. Aussi l'étude des bateaux fluviaux à faible tirant d'eau offre-t-elle suffisamment d'intérêt pour l'homme du métier, car pour ainsi dire chacun de nos fleuves allemands présente des types de

bateaux tout différents, propres à chacun de ces fleuves, et la plupart du temps d'origine très ancienne.

Les matériaux de construction, tel que le fer et l'acier, dont l'emploi devenait de plus en plus fréquent dans la construction des bateaux, ont eu pour effet d'amener plus d'uniformité et de généralité dans cette construction. Toutefois nous devons parler brièvement des types originaires de bateaux sur les fleuves allemands. A l'Est de l'Empire, sur la Memel et la Pregel, et même sur la Vistule, on ne rencontre pas le type d'un bateau vraiment à faible tirant d'eau; le « Kurische Reisekahn », massif et d'un tirant d'eau considérable, pourrait difficilement être rangé dans cette catégorie. Ce bateau conserve encore toujours son caractère spécial, et ses dimensions usuelles sont environ les suivantes : longueur 2.75 m. à 29 m., largeur maxima du pont 6.87 m. à 7 m., hauteur du bordage vers le milieu du bateau 1.86 m., tirant d'eau 1.76 m. à 1.79 m., capacité de transport 163 à 165 tonnes.

Ailleurs déjà, sur la Vistule, sur l'Oder, nous rencontrons le chaland de l'Oder, assez pratique, mais très disgracieux, souvent et même presque toujours construit entièrement en bois, à fond plat de 8 à 10 centimètres d'épaisseur, en sapin ou en pin, à bordage partie en pin sauvage, partie en chêne. Ce chaland présente un pont en planches légères, disposées dans le sens de la longueur, dont les bords se superposent, et des becs d'avant et d'arrière se relevant obliquement, rarement une étrave et un étambot. Même dans le cas où le fer a été employé pour la construction du bordage (le fond étant maintenu en bois), la forme a généralement subi peu de modifications. Tout grossier que paraisse semblable bateau, de fait on constate cependant en lui une répartition très ingénieuse des matériaux de construction, répartition en rapport avec les exigences de solidité; d'où résulte un poids propre relativement réduit et par conséquent une grande capacité de transport. Souvent les joints du fond sont calfatés avec de la mousse, lequel élément de calfatage est fixé à l'aide de crampons en fer. Mais fréquemment aussi les joints longitudinaux du fond sont aveuglés en y clouant des lattes en bois de 3 centimètres de largeur environ; les joints transversaux, au contraire, sont aveuglés le plus souvent au moyen de bouts de planches. Il faut encore faire remarquer la direction aisée de ces chalands, également dans la descente du courant. Cette facilité résulte principalement de ce fait que la plus grande largeur du bateau se trouve très à l'avant, et que les flancs de ce bateau ne sont pas parallèles, mais convergent légèrement vers l'arrière.

Ces bateaux paraissent plus majestueux lorsqu'ils maviguent au moyen de voiles légères tendues par des verges sur les mâts, qui sont

le plus souvent au nombre de trois; ils atteignent de la sorte des vitesses surprenantes. Leurs voyages s'étendent jusqu'au Stettiner Haff, et ils accomplissent même des courtes traversées de cabotage dans la mer Baltique.

La forme en cuiller donnée à l'avant et à l'arrière des bateaux, faussement considérée comme une invention du constructeur de navires Kleppsch, avait déjà été appliquée longtemps auparavant par R. Haack dans les ateliers « Vulkan » de Stettin aux chalands porteurs « Cornet » et « Saturne » pourvus d'hélices. Après que cette forme en cuiller, qui s'était montrée très favorable pour des vitesses modérées, eut trouvé des applications multiples, le chaland de l'Oder fut construit pendant ces dernières années, sur un type modèle offrant toutes les améliorations techniques applicables, dans les chantiers Caeser Wollheim. Ce sont également ces chantiers, d'après l'expérience par eux acquise, qui ont mis en valeur les fonds en fer pour de semblables bateaux, et ce, avec le plus grand succès. Les chalands de l'Oder de ce modèle sont construits environ sur les dimensions suivantes : longueur (maxima) 46 m.; largeur 5,4 m.; hauteur du bordage 1.9 m.; tirant d'eau à vide 0.32 m.; puissance de transport 250 tonnes; ou encore : longueur maxima 54.9 m.; largeur 7.8 m.; hauteur du bordage 2 m. A côté de ces chalands en existent d'autres, plus petits, réservés à la navigation sur le canal de Finow, et tout à fait analogues aux premiers quant au mode de construction et à l'aménagement. Ces bateaux de plus petite dimension atteignent 40 m. à 40.20 m. pour la longueur maxima; 4.44 jusque 4.60 pour la largeur maxima, et 1.75 m. à 1.90 m. de hauteur de bordage pour une puissance de transport de 190 tonnes.

Sur l'Elbe, nous rencontrons le « Elbkahn » (chaland de l'Elbe), analogue au chaland de l'Oder au point de vue de la forme et du mode de construction, mais présentant toujours une étrave et un étambot, au lieu des becs biais caractéristiques du chaland de l'Oder, et en outre offrant des dimensions principales sensiblement plus grandes, en même temps qu'une tonture longitudinale plus élancée. Egalement pour ce bateau, le fond en bois a été conservé la plupart du temps, mais les bordages en fer sont appliqués de plus en plus depuis des dizaines d'années. Déjà en 1880, l'auteur a eu l'occasion de construire un certain nombre de semblables bateaux, à couples et bordage en acier Martin-Siemens de provenance autrichienne, et il a pu se convaincre des excellentes qualités de cet élément de construction, à peine connu de ce temps-là dans l'art de la construction des navires. Ces bateaux peuvent compter parmi les premiers qui ont été construits en semblable acier(1).

(1) Le premier navire en acier a été construit dans les chantiers « Vulkan » à Stettin en 1881.

Depuis que, dans ces derniers temps, on a construit des bateaux avec fond en fer, de grandes dimensions et de fort tirant d'eau, munis de tanks pour le transport du pétrole, et depuis que les lourds remorqueurs également à fond en fer fréquentent l'Elbe jusqu'à son cours supérieur, il est difficile de concevoir pourquoi on s'est tenu aux lourds fonds en bois qui occasionnent un frottement plus considérable et par conséquent nécessitent une force de halage plus grande. Le lit de l'Elbe n'offre cependant pas moins de dangers pour les fonds en bois que le lit du Rhin, sur lequel fleuve l'emploi de bateaux en fer avec fond en bois serait considéré comme une sottise punissable. Il faut encore, en admettant même égalité de durée, opposer à l'économie de construction une meilleure utilisation au point de vue de la capacité de transport, et cette dernière, totalisée pour la flotte entière de l'Elbe, constitue un facteur économique qu'il ne faut pas négliger. Si on ajoute à cela la dépense de force considérablement plus grande, nécessaire au halage de bateaux munis de fonds en bois, on comprend d'autant moins comment et pourquoi pareils fonds n'ont pas disparu depuis longtemps. Plusieurs expérimentateurs ont mis en évidence cette dépense supplémentaire de force, entre autres M. Suppan, capitaine supérieur de la Compagnie de navigation à vapeur du Danube, par des essais pratiques effectués en 1898; puis MM. R. Haack et H. Engels ont confirmé ces résultats par des expériences-types en 1902. Dans ces dernières expériences, l'accroissement de résistance atteignit jusque 33 %, et dans les essais de M. Suppan, jusque 94 % même.

On peut constater jusqu'à quel point les dimensions des chalands de l'Elbe se sont peu à peu développées d'après les données suivantes, qui se rapportent à l'un des chalands construits en 1901 par les chantiers « Kette », lesquels chalands étaient armés d'une machine à vapeur comme force auxiliaire. Etant donné que ce bateau réunit tous les caractères typiques des chalands de l'Elbe, nous l'avons représenté dans la figure 1 de la planche I.

Longueur de l'étrave à l'étambot	78,3	m.
„ à la ligne supérieure de flottaison.	75,7	m.
„ au fond du bateau	71,0	m.
Ecartement maximum des couples	11,81	m.
Largeur maxima au fond du bateau.	11,55	m.
Hauteur minima du bordage	2,00	m.
Tirant d'eau à vide	0,405	m.
Capacité de transport pour un tirant d'eau de 1 m. 80	1057	tonnes

D'après les expériences de halage effectuées sur le trajet Hambourg-

Magdebourg, l'effort de traction dans la remorque ayant été déterminé pour des charges et des vitesses égales, cet effort de traction atteignit :

Navigation à vide	{	700 kg.	pour des bateaux avec fond en fer	"	bois
		860 kg.			
Navigation avec charge de 12,500 quintaux.	{	1600 kg.	"	"	fer
		2400 kg.			

De là résulte que les puissants remorqueurs de l'Elbe, qui peuvent halier actuellement environ 60000 quintaux, pourraient facilement, à l'aide des mêmes machines, remorquer 90000 quintaux si les chalands avaient des fonds en fer. En vérité, c'est là un avantage économique, qui rend incompréhensible l'emploi obstiné des fonds en bois.

Il faut encore citer le chaland originaire de la Moldau supérieure, le « Zille » bohémien, connu de tous les Berlinoises sous le nom d'« Appelkahn » (bateau à pommes), lequel est également un bateau particulièrement caractéristique du bassin supérieur de l'Elbe. Ces « Zille » qui affectent une forme grossière, sont construits à l'aide de longues planches en bois de pin non rabotées, mais de qualité supérieure, sans le moindre emploi de fer. Ils sont constitués presque exclusivement d'un fond, pour lequel on conserve soigneusement les racines coudées, lesquelles ne sont égalisées que d'un côté et laissées telles quelles de l'autre ; ces racines coudées dépassent de beaucoup le bordage, qui n'a pour hauteur que la largeur de deux planches. Ces « Zille » sont destinés à transporter les grains originaires de la Bohême intérieure, riche en céréales, vers Prague et les autres villes situées sur la Moldau. Une fois leur voyage terminé, ils sont vendus comme « Zille nus » et sont soumis alors à une transformation habile et complète, dans la région supérieure de l'Elbe, à Aussig, Bodenbach, et autres endroits. Voici en quoi consiste cette transformation. On recourbe tout d'abord vers le haut les extrémités d'avant et d'arrière des planches du fond, de manière à former une proue et une poupe. Ensuite, sur le côté, on cloue sur les coudes de racines qui dépassent quelques planches supplémentaires, et parmi celles-ci, en guise de ceinture supérieure, des planches en bois de montagne plus résistant ; cette seconde opération a pour effet de surélever le bordage. Finalement le « Zille » est muni d'un léger échafaudage facile à démonter, sur lequel est simplement posé un toit en planches qui constitue le pont. En outre, on construit une cabine à l'arrière pour le timonier, et une à l'avant pour le matelot. A la place de la longue godille du « Zille », pareille à celles utilisées pour les trains de bois, on établit un gouvernail tournant autour d'un axe détachable monté sur un bloc de bois, lequel gouvernail est analogue à celui des cha-

lands de l'Elbe. On munit le « Zille » d'un treuil primitif en fer, servant à la manœuvre des ancres, et enfin on l'enduit d'un goudron jaunâtre, la proue étant décorée d'ornementations caractéristiques en peinture à l'huile. Le « Zille » de Bohême, ainsi transformé, devient à présent un vrai bateau, qui constitue sur l'Elbe et ses affluents un engin de trafic de très bon emploi, et qu'on peut se procurer à un prix très modéré. Il est vrai qu'il n'est susceptible d'utilisation que pendant une durée de cinq ou six ans; après ce temps, il périt de mort violente dans les grandes scieries de bois installées le long de la Sprée, au-dessus de Berlin, lesquelles scieries sont appelées par le peuple les « Abattoirs à Zille », et font la concurrence aux célèbres marchés de bois de Grünewald.

Pour montrer l'extension prise par ces « Zille », construits spécialement pour l'Elbe, en un art tout primitif et décoratif, il nous suffira de dire qu'il en a été introduit de la Bohême, depuis 1900 jusque 1902, un nombre de 1123.

Sur le cours supérieur du Weser étaient autrefois en usage des chalands de forme grossière, construits le plus souvent en bois, appelés « Weserböcke »; il en existe sans doute encore un certain nombre aujourd'hui. Dans cette région également, durant les dix dernières années du siècle passé, le chaland en fer est devenu d'un usage courant, et a pris la forme la plus avantageuse au point de vue de la puissance de transport, eu égard aux particularités du fleuve, lesquelles engendraient de grandes difficultés. Monsieur F. W. Meyer, propriétaire de la « Wesermühle » à Hameln s/Weser, a contribué, l'un des premiers et dans la plus grande mesure, grâce à sa persévérante énergie, à doter la navigation d'un type de bateau de très bon usage, ayant à peu près les dimensions suivantes : longueur 56 m.; largeur 7,30 m.; hauteur du bordage 1,90 m.; tirant d'eau à vide 0,23 m.; puissance de transport 460 tonnes pour un tirant d'eau de 1,50 m. (voir figure 2, planche I). A l'opposé des chalands de l'Oder et de l'Elbe, dont le pont est constitué de planches détachées, les chalands du Weser sont, pour la plupart, munis d'un pont en tôles ondulées galvanisées. Pareil pont présente des avantages indiscutables. Il offre, pour un léger surcroît de prix, une durée presque illimitée et une imperméabilité absolue et durable sans aucun entretien; une grande solidité et une grande résistance dans le cas de charges supportées. Son poids est réduit au minimum, son maniement est aisé à cause de sa légèreté; il permet en outre, qualité très appréciable en cas de pluie subite, de recouvrir rapidement les espaces où sont arrimées des marchandises. Tous ces avantages ne permettent pas de comprendre comment ce genre de pont n'a pas trouvé, sur les autres fleuves, l'application la plus étendue et la plus générale.

On rencontre également, sur le Weser et l'Elbe inférieurs, un grand nombre d'allèges supérieurement conformées et construites; mais comme elles n'appartiennent pas à la catégorie des bateaux à faible tirant d'eau, nous n'avons pas à nous en occuper.

Les chalands en fer desservant le canal de Dortmund à l'Ems sont beaucoup plus massifs et plus disgracieux. Ils présentent une capacité de transport maxima, aux dépens naturellement de la facilité du halage. Ils n'offrent, du reste, aucune particularité spéciale remarquable. C'est le pont en tôles ondulées qui a été adopté pour eux de préférence.

Sur l'Ems, le type propre de bateau est la « Pünke » laquelle, malgré toute sa lourdeur apparente, est d'une utilisation incomparablement plus avantageuse. Ce bateau, construit en bois, sans aucune ornementation, dont la puissance de transport n'est que d'environ cent tonnes, est un fin voilier. Il sait tirer parti de la brise qui ne tombe jamais entièrement dans les régions de faible altitude, et est à même de desservir le trafic jusque dans les plus petits cours d'eau.

Le bateau moderne du Rhin peut être considéré techniquement comme de loin le meilleur. C'est à ce bateau d'ailleurs qu'est échu le plus important des trafics de toutes les voies navigables de l'Allemagne.

D'après la 14^{me} édition du « Rheinschiffsregister » il existe actuellement :

Bateaux du Rhin

Sous pavillon allemand	2563 bateaux	jaugeant	1.573.928 tonnes
„ „ hollandais	4630	„ „	1.107.826 „
„ ä belge	1561	„ „	448.197 „
		<hr/>	<hr/>
Au total . .	8754	„ „	3.129.951 „

Quant au tonnage-kilomètre du Rhin, il s'est élevé, d'après M. Sympher, en 1895 déjà à 5.350.000 tonnes depuis Kehl jusqu'à la frontière hollandaise, contre 3.150.000 tonnes pour l'Elbe, pendant la même année, depuis la frontière autrichienne jusqu'à Hambourg.

Il ne peut être question, eu égard aux différences considérables des dimensions des bateaux rhénans, de parler d'un type normal de bateau du Rhin. On voit, d'après les chiffres cités plus haut, que le bateau allemand jauge en moyenne 614 tonnes, le hollandais 239 tonnes, et le belge 290. Toutefois on peut considérer que le bateau de 1000 tonnes est celui qui se présente le plus fréquemment, lequel bateau mesure 72 m. de longueur, 9,20 m. de largeur et 2,30 m. de tirant d'eau. Le bateau le plus grand qui navigue actuellement sur

le Rhin présente une longueur de 100 m., une largeur de 12 m. et un tirant d'eau de 2,90 m. pour une charge de 2,340 tonnes.

Aussi longtemps que l'on construisit des bateaux en bois dans la région du Rhin et de ses affluents, une grande activité régna dans de nombreux chantiers. De tout temps d'ailleurs, les constructeurs allemands eurent la réputation de gens très capables. Déjà en 1770, des constructeurs de navires de Lohr s/le Mein furent appelés à Prague et à Vienne afin de construire des bateaux pour la Moldau et pour le Danube; et on lança en 1836 à Dorsten s/la Lippe plus de 600 bateaux jaugeant en moyenne 105 tonneaux.

Mais, par l'application de plus en plus fréquente du fer et de l'acier dans la construction des bateaux du Rhin, ainsi que par l'accroissement des dimensions de ces bateaux, s'effectua, au grand détriment de la construction allemande, un notable déplacement de cette industrie vers l'embouchure du Rhin, en Hollande, où la main-d'œuvre et la vie étaient moins chères, ce qui permettait aux constructeurs hollandais, lesquels utilisaient les matériaux de construction anglais, belges et allemands, tous libres de droits d'entrée, de faire la concurrence aux constructeurs allemands.

Le bateau actuel du Rhin pourrait difficilement être surpassé, eu égard aux nombreuses qualités qu'il présente : une puissance de transport très élevée, pour un poids propre minimum; une répartition judicieuse des matériaux de construction, en rapport avec les exigences de solidité; enfin une disposition pratique des espaces chargeables, ainsi qu'une grande facilité de manœuvre. En outre, moyennant bien entendu un entretien approprié, sa durée est presque illimitée, et il existe encore aujourd'hui sur le Rhin des chalands en fer, construits en 1863, qui rendent toujours de très bons services. En dehors de l'aspect plus léger et plus gracieux qui donne mieux le caractère d'un navire au bateau du Rhin, et qui distingue celui-ci des bateaux employés sur les autres fleuves, on peut encore citer d'autres détails spéciaux : une large serre en fer (tôle-gouttière ou ceinture de pont) qui joue le rôle de passavant; des surbaux (cadres d'écouilles) en fer, qu'on nomme « Tennebaum »; des panneaux (couvercles) d'écouilles lisses, formés de planches jointes, à l'instar de ceux qui sont en usage dans les navires de mer. Le gouvernail, en fer, est actionné uniquement au moyen d'une grande roue à rais horizontale mue à la main, et d'un secteur denté. Pour la manœuvre des ancres, il existe des guindeaux à l'avant et à l'arrière du pont; et, pour les deux ancres de bossoir, des rouets à chaîne avec cônes de friction pour faciliter l'enroulement et le déroulement des chaînes. Il est ainsi possible de relever les plus lourdes ancres en une durée de temps minima, et sans aucun danger pour l'équipage, peu nombreux

mais toutefois suffisant, lequel ne comporte pour les plus grands chalands que trois hommes, ou quatre tout au plus.

Il faut encore attirer l'attention sur les mâts, le plus souvent au nombre de trois, plantés dans de solides cornets, et pouvant, même par un mousse, être abaissés ou redressés avec leurs vergues et tout leur gréement à l'aide d'un treuil. Il semblerait, dans ces derniers temps, que le mode de construction de ces bateaux, lequel a fait ses preuves, commence enfin à s'introduire sur l'Elbe, et il est à espérer par là que les fonds en bois, auxquels on s'est tenu si longtemps sur ce fleuve, vont bientôt disparaître.

Les chalands de la Moselle et du Neckar sont des bateaux qui n'offrent que peu d'intérêt, bien qu'ils soient indispensables au trafic des affluents du Rhin. Le plus souvent encore, ils sont en bois, et présentent un bordage peu élevé et des écoutilles dans le genre de celles des bateaux du Rhin. Ils sont d'ailleurs construits sur un très bon modèle et faciles à diriger. La forme très habilement comprise de la proue et de la poupe est la forme en cuiller, et ces bateaux appartiennent techniquement à une classe de beaucoup supérieure à celle des chalands de canaux, qui desservent tout le trafic sur les canaux allemands, français et belges. Ces derniers chalands par leur apparence lourde, leur forme d'auge, et leur mode de construction primitif sans règles et sans scrupules, sont bien les plus affreux qu'on puisse imaginer. A part leur forme horrible — s'il peut être question ici de forme — qu'excuse à peine une tendance à réaliser le jaugeage maximum sans dépasser les limites imposées par les dimensions restreintes des écluses, ces bateaux, qui jaugent environ 300 tonnes, n'offrent absolument rien de caractéristique. Ils sont généralement trainés par des chevaux, et dans ces derniers temps, on s'est servi, pour leur halage, de moteurs à essence et de moteurs à gaz. Souvent les chevaux de trait sont loués pour tout le voyage, et pour les abriter on ménage sur le bateau une écurie. Pour ces bateaux, lorsqu'ils se livrent à la navigation fluviale sur le Rhin, se fait naturellement sentir un manque d'obéissance au gouvernail, causé par les formes carrées de la coque.

Bateaux à vapeur.

Nous rencontrons toujours en Allemagne sur les fleuves navigables d'une certaine importance un nombre considérable de chalands différents, dont les formes découlent des particularités de chaque fleuve et lui sont appropriées. Ces chalands, souvent aussi, sont depuis des dizaines et des centaines d'années légués de père en fils et imités servilement. Cette multiplicité de types n'existe pas au même degré

pour les bateaux à vapeur. Pour ceux-ci, — en respectant bien entendu les dimensions imposées par la profondeur de l'eau, la hauteur libre des ponts, la largeur du fleuve et l'ampleur de ses sinuosités, — c'est la question de la puissance, nécessitée par la résistance propre du bateau et par celle des bateaux à remorquer, qui prévaut, et qui détermine les dimensions et l'aménagement général.

Considérons d'abord les vapeurs qui, sur les cours d'eau peu profonds, circulent librement, c'est-à-dire sans l'aide de remorqueurs, et sans remorquer eux-mêmes. En pareil cas, l'élément principal dont il faut tenir compte est la vitesse maxima du courant à vaincre; et cette vitesse qui est en relation avec la profondeur d'eau maxima de ce courant, a souvent une influence décisive sur la possibilité ou l'impossibilité du succès. On peut toujours chercher à réaliser le jaugeage requis, tout en tenant compte du poids propre du bateau et de celui de la machine motrice, en augmentant la longueur du bateau, si toutefois les coudes brusques et courts du fleuve ne rendent cette solution impossible, et si de plus on n'exige pas pour le bateau une manœuvre particulièrement aisée, laquelle est, la plupart du temps, exclue des bateaux d'une certaine longueur. Si nous nous trouvons dans le cas d'un cours d'eau peu profond, mais large, et si nous disposons d'une hauteur libre suffisante pour permettre l'emploi de roues à aubes, nous devons tout d'abord arrêter notre attention sur un vapeur à roues latérales. Et, à moins, bien entendu, qu'une vitesse de courant excessive ne vienne s'opposer à toute solution, il sera possible, sans trop de difficultés, tout en tenant entièrement compte de la solidité du bateau, de construire une coque assez légère, et de maintenir la machine, la chaudière et les roues dans un rapport de légèreté suffisant pour obtenir un bateau de bon emploi. Naturellement, comme nous avons à vaincre la rapidité du courant, nous ne pouvons pas donner au bateau une largeur aussi grande et des formes aussi amples que nous pourrions le désirer, car nous devrions alors disposer d'une puissance plus élevée, ce qui amènerait d'autres inconvénients. En tout cas cette question peut être considérée comme résolue; la preuve en est donnée par le grand nombre de bateaux à roues très réussis, servant au transport de passagers et de petites quantités de marchandises, et circulant sur nos fleuves à faible hauteur d'eau. La « Compagnie Saxonne-Bohémienne de navigation à vapeur » de Dresde, au cours de plus de 60 années de sa propre exploitation et grâce à l'expérience acquise graduellement, a construit toute une série de bateaux à vapeur, très gracieux dans leurs formes élancées et bien proportionnées. S'instruisant à chaque nouveau bateau construit, et appliquant au fur et à mesure ses connaissances nou-

velles, évitant avec un soin méticuleux tout poids inutile, cette compagnie est parvenue à réaliser, dans ses bateaux, des tirants d'eau minima. Le premier bateau de cette Compagnie, la « Königin Marie », a été construit en 1837 et avait les dimensions principales suivantes :

Longueur	36.092 m.
Largeur	3.924 m.
Largeur au-dessus des tambours des roues . .	7.845 m.
Hauteur	2.51 m.
Tirant d'eau à vide	0.484 m.

Il était muni de deux machines oscillantes de 40 H. P. et d'une chaudière de forme tubulaire (röhrenförmig).

D'après le calendrier de navigation de l'Elbe de 1903, la Compagnie possède 36 vapeurs pour passagers, d'une puissance totale de 5,000 chevaux, et 3 bateaux à hélices, en outre du matériel flottant non muni de machines à vapeur. Le nombre des passagers transportés en 1901 atteignit 3,460,151. Les bateaux du type le plus récent de cette Compagnie sont munis de cylindres obliques, et leurs chaudières travaillent à la pression de 10 atmosphères.

Sur la Moselle également, la hauteur d'eau, souvent très faible, a conduit à un type élégant de bateaux à roues qui ont fait toutes leurs preuves. Naturellement, la longueur des vapeurs fut ici limitée par les coudes nombreux et brusques du fleuve, lesquels empêchèrent également d'adopter le tirant d'eau qu'on eût désiré.

S'agit-il de bateaux plus petits, destinés à naviguer librement sur les cours d'eau peu profonds, la question des moteurs à adopter intervient encore ainsi que celle des hélices comme appareils de propulsion : hélices simples ; hélices doubles ou jumelles ; hélices dont le relèvement et l'abaissement peut être obtenu à volonté d'après le brevet de l'usine Deutz de moteurs à gaz ; et enfin « hélices en tunnel » logées dans un renforcement de la partie inférieure de la poupe. Dans les cas où l'emploi de roues latérales à aubes devient impossible par suite de la largeur insuffisante du fleuve, on peut recourir à une roue à aubes établie à l'arrière, laquelle n'augmente pas la largeur du bateau ; ou à l'hélice simple, si elle est capable, vu les dimensions qu'on peut adopter pour elle, de transmettre à l'eau la force mécanique nécessaire ; ou encore aux hélices jumelles, si elles ne sont pas exposées à des dangers par des rives ou un lit rocailleux, ou rendues inadmissibles par des coudes brusques du fleuve. On peut enfin recourir à l'« hélice en tunnel » dont nous parlerons au sujet des remorqueurs. Il existe de nombreux spécimens de bateaux appartenant à ces diverses catégories ; tous ces bateaux rendent de très bons services, et on n'oubliera pas que leur aspect général doit être

jugé d'après les nécessités auxquelles ont dû se plier les constructeurs, lesquelles nécessités les ont souvent empêchés de créer des modèles plus gracieux.

C'est surtout sur les cours d'eau des colonies transocéaniques, cours d'eau coulant en régime naturel et non modifiés par la main de l'homme, que les vapeurs à roue d'arrière et à faible tirant d'eau se sont montrés les plus favorables; et depuis de longues années de semblables vapeurs ont été livrés dans les colonies anglaises par les chantiers anglais et écossais, en sections qu'on pouvait aisément monter à destination. De semblables bateaux se rencontrent aussi dans les colonies allemandes. Pour le Cameroun a été construit dès 1889 le vapeur « Soden » par les chantiers Jos. L. Meyer à Papenburg s/l'Ems (voir fig. 2, planche II); et pour l'Afrique Allemande Orientale le vapeur « Ulanga » a été construit par les mêmes chantiers pour la navigation sur le fleuve Rufiyi.

Ces bateaux présentent les dimensions suivantes :

	« Soden »	« Ulanga »
Longueur du pont sans le tambour.	24.00 m.	33.00 m.
» » » y compris le tambour.	26.70 m.	36.55 m.
» à la flottaison	22.80 m.	30.70 m.
Largeur au maître-couple	4.75 m.	6.15 m.
Hauteur du bordage	1.00 m.	1.10 m.
Tirant d'eau sous armement complet (vivres, charbon, eau des chaudières, armes, pièces de réserve, équipage)	0.50 m.	0.425 m.
Vitesse en eau tranquille	7 nœuds	8 nœuds
Machine compound.	240 + 435 Ø	305 + 500 Ø
Course des cylindres	800 mm.	1000 mm.
Diamètre de la roue	2.50 m.	3.00 m.
Nombre des auges	9	8
Pression de chaudière (du type locomotive)	10	10
Surface de chauffe pour chauffage au bois.	30.74 m ²	51.29 m ²

Le vapeur à roue d'arrière « Lippe » a été construit à Mannheim en 1886 pour la « Königliche Preussische Bauverwaltung » de Hamm, par la firme Schulz frères, à laquelle a succédé la « Schiffs- und Maschinenbau A. G. ». Ce vapeur devait servir au transport de passagers et au remorquage. On parvint au moyen de ce bateau, à remonter un courant d'une vitesse de 2 km., à raison de 7 km. à l'heure sans remorque, ou de 3 km. à l'heure, en remorquant un chaland d'une capacité de 18 m³.

Voici les dimensions principales de ce vapeur :

Longueur à la flottaison	17.0 m.
Longueur y compris le tambour de la roue	19.5 m.
Largeur, au maître-couple	3.0 m.
Hauteur du bordage	1.0 m.
Tirant d'eau armement complet	0.6 m.
Machine compound	220 + 415 ϕ
Course des cylindres	600 mm.
Chaudière cylindrique à bouilleurs :	
Surface de chauffe	22.5 m ₂
Pression	7.5 atm.
Diamètre de la roue	1800 mm.
Nombre des auge	7

On doit considérer un tirant d'eau de 400 mm. comme la limite jusqu'à laquelle on peut encore construire, avec un rendement convenable, des vapeurs à roues latérales ou à roue d'arrière. On a certes déjà construit des vapeurs ayant un tirant d'eau plus faible, mais on ne peut exiger un bon rendement de pareils bateaux.

Les vapeurs à simple hélice ne se rencontrent pas fréquemment sur les fleuves peu profonds à courant assez rapide, parce que le nombre de tours de la machine ne peut être augmenté outre mesure, et que l'hélice, de trop faible diamètre, n'est plus capable de transmettre à l'eau tout l'effort développé par la machine. Un tirant d'eau d'environ 600 mm. et une puissance de machine de 20 à 30 HP. constituent les limites assignées aux bateaux à simple hélice pour pouvoir atteindre un rendement convenable.

L'emploi des hélices jumelles est beaucoup plus avantageux pour le même tirant d'eau. En admettant pour le bateau la possibilité d'un accroissement de largeur ayant pour but d'augmenter la puissance de transport et de l'espace nécessaire à l'installation de deux machines, on peut utiliser directement une force mécanique double, et par là si pas doubler, tout au moins augmenter considérablement le rendement. Nous supposerons connu l'aménagement des hélices dans de semblables bateaux, car il n'offre rien de particulier. La fig. 1, pl. 2 représente un des bateaux à deux hélices construits en 1903 pour la « Königliche Kanal Kommission du canal de Dortmund à l'Ems », par la Schiffs- und Maschinenbau A. G., de Mannheim. Ce bateau, dans la construction duquel on a suivi les idées exposées par le Prof. Schutte à la suite de ses essais de remorquage, lesquelles idées furent également émises par M. R. Haak Baurat, ce bateau, disons-nous, présente comme particularités remarquables la forme de son étambot et le relèvement de son étrave ; ces dispositions se sont

d'ailleurs montrées favorables au point de vue de la vitesse, et surtout de la facilité de direction dans les cours d'eau étroits. Le gouvernail équilibré suspendu de ce bateau exige pour sa rotation une force naturellement moindre qu'un gouvernail qui tournerait autour d'un axe vertical appliqué à son extrémité antérieure.

Si les hélices jumelles ne suffisent pas encore pour donner au bateau la puissance exigée, il faut nécessairement avoir recours aux « hélices en tunnel sous la poupe », dont nous parlons au sujet des remorqueurs.

On a également construit des bateaux munis d'appareils de propulsion autres que ceux dont il vient d'être question, mais nous n'avons naturellement pas à nous occuper des multiples inventions qui paraissent chaque jour, souvent aussi ingénieuses qu'impossibles à appliquer, et qui fourmillent dans les journaux de brevets de tous pays. Nous nous en tiendrons donc aux systèmes qui ont fait sérieusement leurs preuves.

Il a été, par exemple, construit dans les chantiers Kette, à Uebigau, près de Dresde, une série de bateaux assez légers, munis de propulseurs à turbines du système Zeuner. Ces bateaux ont donné des résultats remarquables(1). Ainsi le « Sachsen » d'une longueur de 33 m. 7, d'une largeur de 3 m. 7 et d'un tirant d'eau de 665 mm., atteignit, pour une puissance de 173 chevaux indiqués, la vitesse assez élevée de 5 m. 28 par seconde, soit 20 kilomètres à l'heure ; sa facilité de direction, en même temps, se montra supérieure. Si l'on tient compte du faible tirant d'eau, on est forcé de convenir que de pareilles vitesses ont rarement été atteintes avec d'autres appareils de propulsion.

Occupons-nous à présent des remorqueurs, qui, sur des eaux peu profondes, doivent, même contre des courants violents, développer une force suffisante pour produire leur avancement propre en même temps que celui d'autres bateaux. Ici le choix du type de bateau et de l'appareil de propulsion devient beaucoup plus difficile. L'accroissement de force mécanique, exigé *à priori*, nécessitera une augmentation correspondante de poids, et en outre la machine, la chaudière, les soutes à charbon demanderont plus de place pour leur installation. Comme le tirant d'eau est ici fixé, on ne peut avoir recours, en vue d'obtenir l'accroissement requis du déplacement d'eau, qu'à l'allongement ou à l'élargissement du bateau. Mais ces deux solutions augmentent la dépense en matériaux de construction nécessaire à donner au bateau une raideur suffisante ; elles augmentent en même

(1) Consulter à ce sujet : AUG. JAHNEL, *Bateaux fluviaux d'un tirant d'eau inférieur à 0^m75*. IX^e Congrès International de Navigation 1902.

temps le poids ; de sorte qu'on arrive rapidement à la limite imposée par les conditions particulières du fleuve. Il faut donc avant tout s'efforcer de rendre toutes les parties du bateau les plus légères possible, tout en observant naturellement les conditions de sécurité. En outre, il faut, dans tout ceci, ne pas négliger la question du déplacement, eu égard au frottement indispensable qu'il faut engendrer entre le bateau et l'eau. Cette question, jusqu'ici, a en général peu préoccupé les constructeurs des bateaux ; trop peu, même, pour qu'il n'en soit pas résulté parfois des mécomptes. Et cependant cette question est essentielle, de même que, pour les locomotives, celle du poids utile dont dépend la puissance de traction. Je pourrais citer de nombreux cas dans lesquels, sur des fleuves dont les conditions de régime étaient très favorables, furent essayés, avec de grandes espérances de succès, des bateaux particulièrement légers, munis de machines puissantes, largement calculées pour l'effort de traction à produire, et où les dits bateaux ne donnèrent que des résultats pitoyables. Nous pouvons d'ailleurs obtenir aisément une autre preuve de ce que nous disons, en considérant les torpilleurs. Les torpilleurs, au profit de la vitesse qu'on cherche à rendre la plus grande possible, sont construits dans des conditions toutes spéciales de légèreté, en employant des matériaux de qualité supérieure et en évitant avec un soin méticuleux tout élément non indispensable. De sorte que ces torpilleurs qui possèdent, pour un déplacement minimum, des machines de très grande puissance, parviennent à atteindre des vitesses étonnantes. Mais, au point de vue de la puissance de remorquage, ils sont facilement distancés par les remorqueurs construits spécialement en vue du halage d'autres bateaux. Et nous constatons ainsi que de grands bateaux, possédant des machines relativement faibles, développent une puissance de remorquage très élevée. Bon gré mal gré, nous devons, dans les cas particulièrement difficiles, envisager la question du minimum de déplacement admissible. On devra toujours tenter, si possible, d'adopter pour solution les bateaux à roues latérales. Nous avons en effet vu précédemment, à propos des bateaux à hélices, que pour ceux qui naviguent librement au moyen d'une seule hélice, un tirant d'eau de 600 mm. doit être considéré comme un minimum et qu'en ce cas la puissance maxima utilisable n'est que de 20 à 30 HP, et seulement de 40 à 60 HP même pour les bateaux à deux hélices. Au contraire, pour un bateau à roues latérales, on réussit facilement, avec le même tirant d'eau, à utiliser complètement des puissances atteignant jusque 300 HP indiqués. Il faut naturellement procéder toujours avec économie, et assurer une répartition convenable et judicieuse des matériaux de la meilleure qualité. Si la construction du bateau ne permet plus aucune réduction de poids, celui-ci peut

toutefois être encore diminué en réduisant graduellement la hauteur du bordage des parties d'avant et d'arrière du bateau, comme cela se pratique pour les toueurs. On atténue et on évite même souvent l'aspect moins plaisant que présenteraient des bateaux ainsi construits en donnant à la lisse de bastingage une tonture plus dégagée et plus élancée, et en relevant artificiellement le liston du plat-bord au-dessus du pont. Parmi les divers poids propres inévitables, un des plus gênants résulte de la grande quantité d'eau nécessaire dans les chaudières cylindriques à bouilleurs, les chaudières à foyer intérieur, les chaudières à retour de flamme ou chaudières écossaises, ce volume d'eau devant être emporté comme poids mort. Aussi utilise-t-on rarement ces sortes de chaudières, surtout pour des vapeurs à faible tirant d'eau. On emploie plutôt les chaudières à tubes de fumée, c'est-à-dire des chaudières présentant un foyer intérieur dont la longueur est fixée par la longueur nécessitée par la grille et dont l'extrémité est fermée par une paroi en fer; les tubes de fumée vont de cette paroi à l'extrémité postérieure de la chaudière, de sorte que la flamme ne doit parcourir qu'un trajet direct. On évite ainsi un excès de poids considérable : d'abord la chaudière elle-même devient plus légère par la suppression de la boîte à feu; ensuite le volume d'eau que cette chaudière contient diminue sensiblement.

Même pour ces chaudières à tubes de fumée, il faut encore emporter beaucoup d'eau, et si l'on veut réduire davantage le poids, il faudra recourir à des chaudières du type de locomotive.

Le tableau ci-dessous montre les écarts de poids entre les chaudières mentionnées :

	Surface de chauffe $\overline{\text{M}^2}$	Pression effective —	Poids de la chaud. $\overline{\text{T.}}$	Poids de l'eau $\overline{\text{T.}}$	Poids d'eau par chev. ind.
Chaudière à retour de flamme .	60	9	12,7	6,1	18,8
Chaudière à tubes de fumée. .	60	10	10,5	6,8	16,5
Chaudière syst. Schultz Thornycroft	50	10	3,75	0,85	4,6
Chaudière syst. Schultz Thornycroft	36	10	2,8	0,7	3,5

On déduit de là pour chacune de ces chaudières le poids correspondant à 1m^2 de surface de chauffe :

	Poids de la chaudière $\overline{\text{Kg.}}$	Poids de l'eau $\overline{\text{Kg.}}$	Poids total $\overline{\text{Kg.}}$
Chaudière à retour de flamme . . .	101,7	211,7	313,4
Chaudière à tubes de fumée	100	175	275
» syst. Schultz Thornycroft.	75	17	92
» » » .	77,8	19,5	97,3

A coté de cela, la chaudière système Dürr pour bateaux donne par m², pour des surfaces de chauffe analogues : poids de la chaudière 126 kg., poids de l'eau 23,1 kg., en tout 149,1 k. On comprend, eu égard à la différence peu sensible des poids, pourquoi les chaudières tubulaires ont été peu appliquées aux bateaux de fleuve, et encore moins les chaudières à tubes d'eau minces, du système Schultz-Thornycroft, lesquelles sont fort répandues et de plus en plus employées dans les navires de guerre.

Une des conditions exigées pour les chaudières de navigation fluviale, est qu'elles réalisent un emmagasinement de chaleur suffisant pour qu'elles soient à même de satisfaire, à tout moment, à une dépense de vapeur plus grande, au cas où surviendraient des obstacles à la navigation, ou un surcroît de difficultés. Or, plus le volume d'eau contenu dans la chaudière est grand, plus l'emmagasinement de chaleur est important, de manière que lorsque l'on consomme plus de vapeur, aussitôt une évaporation de l'eau de la chaudière se produit spontanément. Au contraire, un emmagasinement plus grand de chaleur s'opère dans l'eau de la chaudière, quand la prise de vapeur est faible, comme dans le cas d'un arrêt momentané ou d'une marche lente. Il s'ensuit que l'eau de la chaudière joue le rôle d'un régulateur qui fonctionne d'autant plus sûrement, que la quantité d'eau est plus considérable ; c'est pour cette raison le plus souvent que les chaudières tubulaires sont peu appréciées pour la navigation intérieure : la condition essentielle exigée, c'est-à-dire l'emmagasinement plus grand de calorique, leur fait défaut.

Lorsque les frais relatifs au combustible employé entrent moins en ligne de compte, on peut encore mentionner comme solution économisant de la place et du poids, le chauffage de la chaudière au moyen de combustibles liquides. Grâce aux excellents pulvérisateurs centrifuges et à vapeur inventés dans pareil but par les frères Körting à Hanovre, on a pu réaliser des constructions techniquement complètes. Il faut remarquer que la besogne fatigante des chauffeurs devient inutile, et que l'on peut ainsi réaliser une économie importante sur le salaire de ces ouvriers.

En exploitation pratique, comme ce doit être le cas pour la navigation fluviale, on a constaté, dans les machines à vapeur, une consommation de 0.75 m³ de pétrole pour 10,000 calories fournies, le mètre cube de pétrole pesant environ autant que le mètre cube de « charbon de chaudière » de bonne qualité, lequel fournit 7.500 calories.

Si l'on ne parvient pas encore à résoudre la question du poids propre vis-à-vis de celle du déplacement on peut encore diminuer le poids du bateau par une construction appropriée de la coque. Ce mode de construction spécial consiste à réaliser pour le bateau une raideur

longitudinale suffisante à l'aide d'un système de contre-fiches, permettant de donner au fond et au bordage une légèreté particulière. Un semblable bateau, le « Germania », fut construit en 1884 à Stettin par l'auteur de ce mémoire. Ce vapeur était muni de roues latérales et sa machine développait 250 chevaux. Les dimensions principales étaient : longueur 45.5 m. ; largeur 5.40 m. ; hauteur sous le milieu du pont 2.15 m. ; hauteur du bordage 1.20 m. ; tirant d'eau, y compris une charge de 1.5 tonne de charbon $\frac{575}{590}$ m/m (Poids propre du bateau = $L \times L \times H \times 0.108$). Comme le Kaiser Wilhelm Kanal n'était pas encore construit, ce bateau effectua le voyage par mer, à l'aide de sa propre machine, à travers le Limfjord dans le Nord du Jutland et parvint sans avarie, par la mer du Nord, à Brême, pour aller de là à Hameln, son lieu de destination. Depuis lors, il fait le service entre cette dernière ville et la Wesermühle. Bien que dans ce cas, le bordage, en acier coulé Martin Siemens allemand de qualité supérieure, n'eût que 3 à 4 m/m d'épaisseur, le bateau se comporta si bien sur les courtes et hautes vagues soulevées par une forte brise dans le Stettiner Haff, que l'on ne put trouver aucune trace de déformation aux endroits où des marques avaient été indiquées en vue de pareille vérification.

Il faut encore attirer l'attention sur le gouvernail auxiliaire, qui, pour les bateaux d'une certaine longueur, devient nécessaire en vue d'obtenir une meilleure direction dans un cours d'eau étroit et sinueux. Ce gouvernail, lorsqu'on ne s'en sert point, peut être aisément retiré de l'eau, et être accroché au flanc du bateau.

Si la largeur du fleuve, ou encore l'ouverture des ponts et les pertuis des écluses ne permettent pas l'emploi des roues latérales, on aura de nouveau recours aux vapeurs à roue d'arrière. Semblables roues permettront aussi souvent d'arriver aux meilleurs résultats ; c'est d'ailleurs ce que prouve l'extension qu'elles ont prises sur certains fleuves, et notamment sur l'Oder.

Un remorqueur à roue d'arrière, construit par la « Schiff's und Maschienenbau A. G. », à Mannheim, présentait les dimensions principales ci-dessous :

Longueur totale au-dessus du tambour	58 m.
Largeur maxima au maître-couple	5.5 m.
Hauteur du bordage	1.0 m.
Hauteur sur l'axe du bateau	2.0 m.

Son tirant d'eau, sous armement complet et avec 9 tonnes de charbon, atteignait 450 m/m. ; et, au point de vue de sa puissance de remorquage, il hala (sur le Main) une charge de 3,500 quintaux

transportée dans trois chalands (en bois) avec une vitesse de 4 kilomètres à l'heure contre le courant. La puissance développée par la machine s'éleva à 180 HP indiqués. La chaudière avait 64 m² de surface de chauffe et travaillait à 7 atmosphères de pression effective. Un autre bateau à roue d'arrière construit récemment par les chantiers César Wollheim, et auquel furent appliquées des innovations remarquables, est représenté dans la fig. 2, pl. 3.

Une question intéressante au plus haut point est celle du rendement des bateaux à hélice « en tunnel » logée dans un renfoncement de la poupe. Pour ces bateaux également, il s'agit en premier lieu de réaliser un faible tirant d'eau, et en conséquence il faut que des machines relativement puissantes fournissent une force considérable à l'hélice et que celle-ci transmette à l'eau une grande énergie. Déjà, en 1856, l'Anglais John Buchanan prit un brevet pour la construction d'un bateau très plat, dont vers le milieu de la longueur environ, il avait relevé le fond en forme de tunnel. Ce tunnel croissait en hauteur à partir de ses extrémités d'avant et d'arrière jusqu'à atteindre sa hauteur maxima au centre ; ses parois latérales étaient verticales. Une hélice à arbre horizontal avait été disposée à la partie centrale du tunnel, là où celui-ci présentait sa plus grande hauteur.

J. Buchanan voulait par cette disposition permettre l'emploi d'une hélice de plus grande dimension que celle qu'il eût été possible d'établir à l'emplacement libre de l'arrière. En même temps, il voulait laisser l'eau s'élever, pendant la marche du bateau, jusqu'au haut du tunnel, et fournir ainsi à l'hélice une quantité d'eau suffisante. Il doit paraître surprenant que ce système ait été pris si peu en considération et appliqué seulement par un petit nombre de constructeurs ; en effet, une fois que l'hélice eut été transportée à l'arrière, et que seule la partie de la poupe qui surplombait cette hélice eut été creusée en tunnel, la disposition intérieure du bateau devint semblable à celle d'un bateau ordinaire à hélice. Quant à l'arrière, dont évidemment l'aspect n'était pas très plaisant, il ne créait pas d'embarras sérieux.

En Angleterre, ce fut la firme connue « Thornycroft » de torpilleurs qui, en 1895, construisit sur ce type pour le Nil un bateau qui se comporta d'une manière tout à fait satisfaisante. Cette firme n'a pas cessé d'appliquer et de perfectionner le système.

Les chantiers de construction de navires et de bateaux « R. Holtz », à Harburg, ont été les premiers en Allemagne à appliquer le même système, et ils ont également inventé maint perfectionnement, comme par exemple les aubes directrices qui ont pour but d'amener d'une manière plus effective l'eau à l'hélice. Si le système n'a pas trouvé

une application générale. surtout pour les cours d'eau peu profonds, cela peut provenir d'un sentiment d'incertitude résultant d'un manque de données certaines sur les rendements qu'on peut obtenir avec de semblables bateaux. Certes cette impression pouvait se justifier lorsque le constructeur avait à garantir, dans de semblables cours d'eau, des rendements déterminés concernant la vitesse et la force de remorquage. Si pareil bateau se fût montré incapable de rendre de bons services, il eût été considéré comme presque sans valeur; et il n'est donc pas étonnant qu'on se soit montré si circonspect dans l'adoption de ce système. En 1902, l'auteur eut l'occasion de construire à Mannheim un semblable bateau pour la firme connue « Tiefbaufirma Grün & Bilfinger », lequel bateau devait être employé pour des travaux dans des ports et pour des dragages, et être en même temps capable de remorquer, dans des eaux de faible profondeur, de lourdes embarcations. Les dispositions de ce bateau sont représentées fig. 1, pl. III, et ses dimensions principales sont :

Longueur de l'étrave à l'étambot	23.6 m.
Hauteur du bordage	2 2 m.
Diamètre de l'hélice	1.7 m.
Ecartement des couples	5.0 m.
Tirant d'eau (avec 5 tonnes de charbon)	1.2 m.

Vitesse moyenne en remonte et en descente de courant 15 kilomètres pour 250 chevaux indiqués. Effort de traction dans la remorque : 2,600 kilog. dans le cas d'une vitesse de 11 kilomètres. Si l'on tient compte de ce que, pour le tirant d'eau imposé de 1 m. 70, on n'eût pu adopter dans un bateau à hélice qu'une puissance de 100 HP ou au maximum 130 HP, tandis que dans le cas actuel on pouvait utiliser entièrement une puissance de 250 HP indiqués, il y a tout lieu d'être satisfait du résultat obtenu et de prédire que ce système est appelé à prendre une grande extension.

Il faut attirer l'attention sur la forme de l'arrière du bateau « Liselotte ». Seules les parties latérales de cette poupe jusqu'un peu en arrière de l'hélice, plongent dans l'eau. Toutefois l'extrémité de cette poupe ne descend pas comme d'ordinaire à la même profondeur, mais reste au contraire au-dessus de l'eau. On voulait obtenir par là un meilleur écoulement de l'eau soulevée et refoulée par l'hélice, et par conséquent une diminution de résistance et une vitesse meilleure en marche libre. Ce but a été complètement atteint; et en même temps on n'a plus constaté l'effet secondaire désagréable du « sichsetzen », c'est-à-dire une immersion plus accentuée de l'arrière; au contraire même, on observa une tendance au soulèvement. Or ceci constitue un avantage tout spécial, car l'immersion plus accentuée de

la poupe, surtout en eau peu profonde, a rendu bien souvent impossible l'emploi des bateaux à hélices ordinaires ainsi que des vapeurs à roues d'arrière. Il importe, pour ces bateaux à « hélice en tunnel » de favoriser l'arrivée de l'eau à l'hélice en donnant au bateau des formes élancées. Ceci naturellement provoque une diminution du déplacement; mais la même condition est également requise pour tous les autres systèmes d'hélices, et il est tout à fait défavorable d'adopter pour l'arrière de ces bateaux des formes massives.

Un point douteux, entre autres, était la manière dont se comporterait l'« hélice en tunnel » dans sa marche en arrière. On n'a pu constater aucun effet qui puisse compromettre la sécurité de la manœuvre. Si l'on considère le bateau à l'état de repos, immobile donc, l'eau est naturellement au même niveau à l'intérieur du tunnel qu'à l'extérieur. Mais si on imprime à l'hélice un mouvement de rotation rapide, l'air est expulsé du tunnel, et celui-ci, d'après la loi naturelle, se remplit d'eau. Comme la poupe s'allongeant à l'arrière au-dessus de l'eau permettait l'entrée continuelle de l'air quand l'hélice tournait à contre-sens, il aurait aussi pu aisément se produire que cette hélice, pour la marche en arrière, refusât le service, ou ne développât qu'un effort beaucoup moindre; toutefois ce ne fut pas le cas. Afin de pouvoir examiner l'état de l'eau dans le tunnel, on avait établi au-dessus de l'hélice, à une hauteur convenable, un regard à fermeture hermétique. Également en ce qui concerne la facilité de direction, ce bateau ne diffère aucunement des navires de mêmes dimensions construits sur les types ordinaires. Depuis que, dans les essais de remorquage, l'effort de traction se mesure au moyen de dynamomètres, mon avis sincère est que ce mode de construction est réellement appelé à satisfaire aux nombreuses exigences de la navigation dans les cours d'eau de faible profondeur, et qu'il permettra même encore cette navigation, dans des cas où elle n'aurait pu antérieurement s'exercer, par suite de la quantité d'eau et de la hauteur libre insuffisantes. Un autre bateau du même système fut construit par la « Schiffs- und Maschinenbau A. G. » de Mannheim, et employé avec les meilleurs résultats pour le remorquage des dragues sur le cours peu profond et étroit de la Lippe. Bien que nous ayons dit antérieurement qu'un tirant d'eau de 60 centimètres ne permettait d'utiliser qu'une force mécanique de 30 HP, nous trouvons dans ce bateau une machine développant 50 chevaux indiqués, totalement utilisés.

Il est intéressant, au sujet de la construction de ces bateaux, dont le premier fut déjà mis sur chantier vers le milieu de 1902, de rappeler que M. A.-F. Yarrow, vice-président de la « Institution of naval Architect », dans une conférence donnée par lui en 1903, avait conclu à l'abandon de la dernière roue d'arrière, et avait fait dans ce

sens des expériences minutieuses, qui le conduisirent à cette même conclusion que, à cause de l'eau qui s'échappe vers l'arrière avec une grande force, l'air est maintenu à l'extérieur du « tunnel » et ne peut parvenir à s'y introduire. Un grand nombre de bateaux de ce système ont déjà été construits par la firme « The Yarrow Shipbuilding and Engineering Co Lim. » et ces bateaux, d'après les rapports de la dite firme, ont répondu à toutes les exigences. Les canonnières construites dans ses chantiers sont surtout remarquables, dans ce sens qu'elles peuvent, pour un tirant d'eau minimum, atteindre des vitesses très élevées.

Dans ces derniers temps, la firme F. Schichan, à Elbing, a construit pour la marine allemande, sur le même type, une canonnière destinée aux fleuves de Chine, laquelle a donné des résultats très satisfaisants.

Des essais offrant un très haut intérêt ont été effectués par M. Yarrow avec des bateaux à « hélices en tunnel ». M. Yarrow, dans un semblable bateau, appliqua à l'extrémité d'arrière du « tunnel » un clapet, mobile autour d'un axe horizontal, lequel clapet pouvait à volonté être relevé ou rabattu. On voulait arriver par là, même pour un bateau peu chargé, dont par conséquent le « tunnel » s'élevait sensiblement au-dessus du niveau de l'eau, à pouvoir maintenir l'air à l'extérieur de ce tunnel, tandis que lorsqu'au contraire le bateau était fort chargé, le clapet devenait inutile et devait être placé horizontalement.

Un autre essai intéressant fut encore effectué avec un bateau dont les dimensions, proportionnées à celles de la section navigable, étaient les suivantes : longueur 24.38 m., largeur 4.42 m., tirant d'eau minimum 0.533 m., déplacement 40 tonnes. Chacune des deux hélices était actionnée par une machine à haute tension dont le cylindre avait 0.254 m. de diamètre et 0.254 m. de course. Le bateau était destiné à la « Trent Navigation Company », laquelle avait eu beaucoup de difficulté à se procurer des remorqueurs de puissance suffisante. Les bateaux à roues latérales avaient une trop grande largeur, ceux à hélices jumelles et à roue d'arrière avaient un rendement trop peu élevé. C'est alors que l'on construisit ce bateau à « hélices en tunnel » comme bateau d'essai. Il portait le nom de « Little John ». Après qu'il eut été en service pendant de long mois, il fut déclaré comme parfaitement apte au service de remorquage qu'il fallait assurer.

L'ingénieur de la compagnie, M. Ragner, établit des comparaisons entre la puissance de remorquage du « Little John » et celle du remorqueur à roues latérales « Robin Hood » qui faisait le service de la compagnie sur le cours inférieur du fleuve, et qui avait les dimensions principales ci-après : longueur 38.888 m., largeur au-dessus des

tambours 7,315 m.; tirant d'eau 0.914 m.; déplacement environ 55 tonnes, 2 cylindres chacun de 45 m/m de diamètre et de 685 m/m de course (avec condensation); roues 2.793 m. de diamètre pour 1.180 m. de largeur d'aubes.

Les deux bateaux, eu égard à leurs dimensions principales, se prêtaient très bien à une comparaison.

Le tableau ci-dessous donne les résultats obtenus au cours des divers essais :

Nom du bateau	Puissance en chevaux indiqués	Effort de traction dans la remorque	Force en chevaux dans la remorque	Rendement trav. ut. trav. dev. en o/o	Vitesses par heure en milles marins
« Robin Hood » . . .	90.2	2,314	31.6	35.0	5.12
(Vapeur à roues laté- rales)	49.98	1,741	20.0	40.0	4.31
« Little John » . . .	118.24	2,901	44.1	37.3	5.70
(Vapeur à hélices en	{	2,321	32.3	34.2	5.22
tunnel)					
	16.97	1,823	21.3	34.4	4.38

De ces essais, ainsi que d'autres encore, il résulte que des rendements de remorquage sensiblement pareils furent atteints pour les deux bateaux. Le bateau à roues était supérieur au bateau à « hélices en tunnel » pour les petites vitesses, tandis que ce dernier était supérieur à l'autre pour des vitesses plus grandes. Si l'on tient compte à présent de ce que le bateau à roues avait un tirant d'eau de 914 m/m et le bateau à « hélices en tunnel » un tirant d'eau de 533 m/m seulement, et qu'en outre le bateau à roues, à cause de ses larges tambours ne pouvait pas être employé dans le cours supérieur du fleuve, on est forcé d'avouer que le bateau à « hélices en tunnel » possède sur l'autre une supériorité très grande et très manifeste. Un point important qu'il ne faut pas oublier de mentionner, et qui se constate d'ailleurs pour les bateaux du même type construits à Mannheim, c'est que la détérioration du lit et des rives de fleuve sensible, car le courant d'eau provoqué par les « hélices en tunnel », limité latéralement par les parois du tunnel, s'écoule exactement dans le sillage du bateau, donc dans la direction du courant du fleuve. Les hélices ordinaires, au contraire, produisent inévitablement de semblables détériorations. Pour cette raison l'emploi des « hélices en tunnel » paraît particulièrement avantageux pour les cours d'eau étroits et peu profonds, ainsi que pour les canaux à plafond et à talus sans consistance.

La problème relatif à la détermination de la force nécessaire au remorquage n'est pas toujours facile à résoudre, et l'on doit souvent procéder par comparaison, même lorsqu'il s'agit du remorquage de bateaux parfaitement connus et dont on possède les plans exacts,

lorsqu'on veut réaliser des vitesses déterminées en eau calme, profonde, et de surface très étendue. Ce même problème ne sera presque jamais résolu par la théorie pure, lorsqu'il sera question de remorquage sur des eaux de surface limitée, et dans pareil cas, c'est peut-être par l'expérience que nous devons nous laisser guider le plus. Le relevé continu des efforts de traction dans la remorque pourra nous renseigner clairement sur les résistances au mouvement des bateaux, qui sont engendrées et qu'il faut vaincre dans les diverses parties du fleuve. On peut se faire une idée de la façon dont varient ces résistances, en même temps que les efforts de traction dans la remorque, en examinant les relevés dynamométriques pris lors d'essais de remorquage effectués sur le Rhin, lesquels relevés sont disposés en tableaux dans la planche IV, n^{os} 1 à 3. Une simple fausse manœuvre du gouvernail, un banc de sable, dont la présence a été trop tardivement soupçonnée pendant le trajet pour qu'on puisse s'en écarter suffisamment, font instantanément remonter l'aiguille du dynamomètre. Il n'est dès lors pas facile de déduire de pareils relevés une valeur moyenne exacte, applicable dans des circonstances quelconques, celles-ci dépendant aussi du niveau variable de l'eau. Les diagrammes deviennent naturellement plus réguliers lorsqu'ils sont relevés pendant des trajets en eau libre. Mentionnons ici le résultats d'essais de remorquage effectués sur le parcours très favorable du Rhin entre Mayence et Mannheim au moyen du remorqueur "Badenia X" construit dans les chantiers de Mannheim, lesquels essais sont reproduits dans la fig. 4, pl. IV. Ce diagramme renseigne en même temps tous les éléments nécessaires à l'appréciation exacte des rendements de remorquage. A l'extrémité de gauche des horizontales d'abscisse sont indiqués les temps auxquels les lectures ont été faites, et en même temps, au pied des ordonnées, sont renseignés les numéros des bornes kilométriques de la rive de manière à pouvoir déterminer immédiatement la vitesse de halage, les volumes d'admission dans le cylindre à haute pression, la pression de la chaudière au manomètre, le nombre de tours des arbres d'hélice, et enfin la lecture au dynamomètre de l'effort de traction dans la remorque. Si l'on y ajoute encore les variations de la pente de surface de l'eau aux différents points, un pareil tableau, au point de vue de la clarté et de la précision, ne laissera plus rien à désirer. Il ne faut évidemment accorder une attention sérieuse qu'à des observations rigoureuses, car des chiffres erronés ou même incertains peuvent parfois conduire à de très piteux résultats.

Les limites beaucoup trop restreintes imposées à ce mémoire ne permettent pas de développer le sujet si étendu qui nous occupe d'une façon tant soit peu complète. Nous sommes en conséquence

contraints de laisser de côté la question des puissances à développer soit pour les bateaux naviguant librement, soit pour les remorqueurs et les bateaux à remorquer. Nous n'entrerons pas dans la description détaillée des bateaux munis de propulseurs à réaction, des toueurs à vapeur à chaînes ou à câbles, ni dans l'examen de leur influence future. Nous ne toucherons point enfin à la question des moteurs dans ses rapports avec la navigation fluviale, ni à la question plus importante des résultats que ces moteurs ont donnés, des raisons qui les justifient, et du développement qu'ils sont appelés à prendre. A l'époque antérieure à la nôtre, on se basait exclusivement sur des expériences, et l'on procédait péniblement dans chaque cas avec la plus grande circonspection; l'époque actuelle au contraire a donné une impulsion vigoureuse à l'étude et au développement de tout ce qui a trait à la navigation, et notamment à la navigation fluviale (1).

Chez tous les peuples navigateurs, des savants très capables, dont le nombre s'accroît de jour en jour, s'adonnent aux problèmes de la navigation; et la science d'aujourd'hui, plus développée et plus précise, contribue puissamment au succès de leurs efforts. De nos jours, d'ailleurs, l'individu ne cherche plus à cacher égoïstement le résultat de ses travaux à la Collectivité. Mais cette Collectivité, qui s'est vouée à l'étude de ces importantes questions, demande qu'on lui laisse les coudées franches pour l'application de la science humaine et la manifestation de sa puissance créatrice. Dans ce tournoi pacifique des nations, l'honneur qui doit échoir au vainqueur est la réalisation de cette parole napoléonienne :

“ Le trident de Neptune, c'est le sceptre du monde ! ”

R. BLÜMCKE.

(1) Divers plans et dessins relatifs aux bateaux, machines, chaudières, appareils de propulsion dont il est question dans ce mémoire m'ont été gracieusement communiqués. Je tiens à adresser ici mes plus vifs remerciements à tous ceux qui ont si aimablement mis ces précieux renseignements à ma disposition.

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

ASSOCIATION INTERNATIONALE PERMANENTE
DES
CONGRÈS DE NAVIGATION

X^e CONGRÈS - MILAN - 1903

I. Section : Navigation Intérieure
4. Question

RAPPORT
PAR
R. BLÜMCKE

PLANCHE I

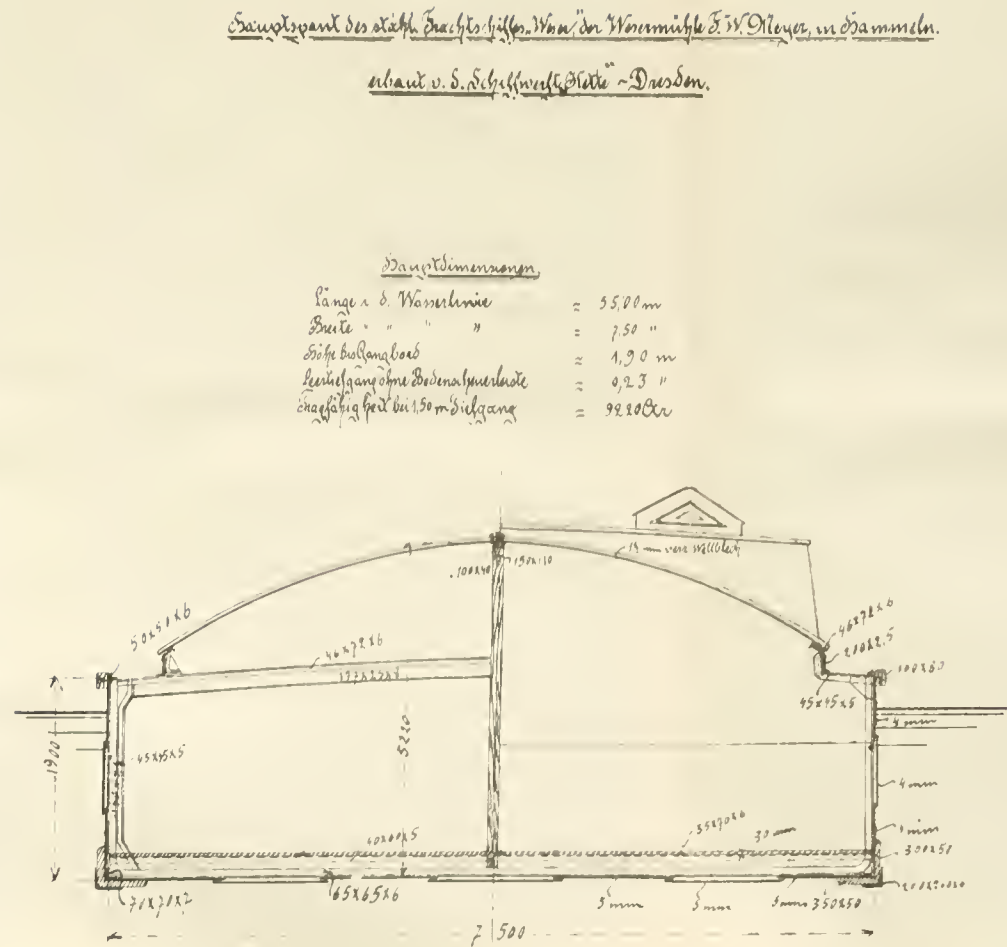
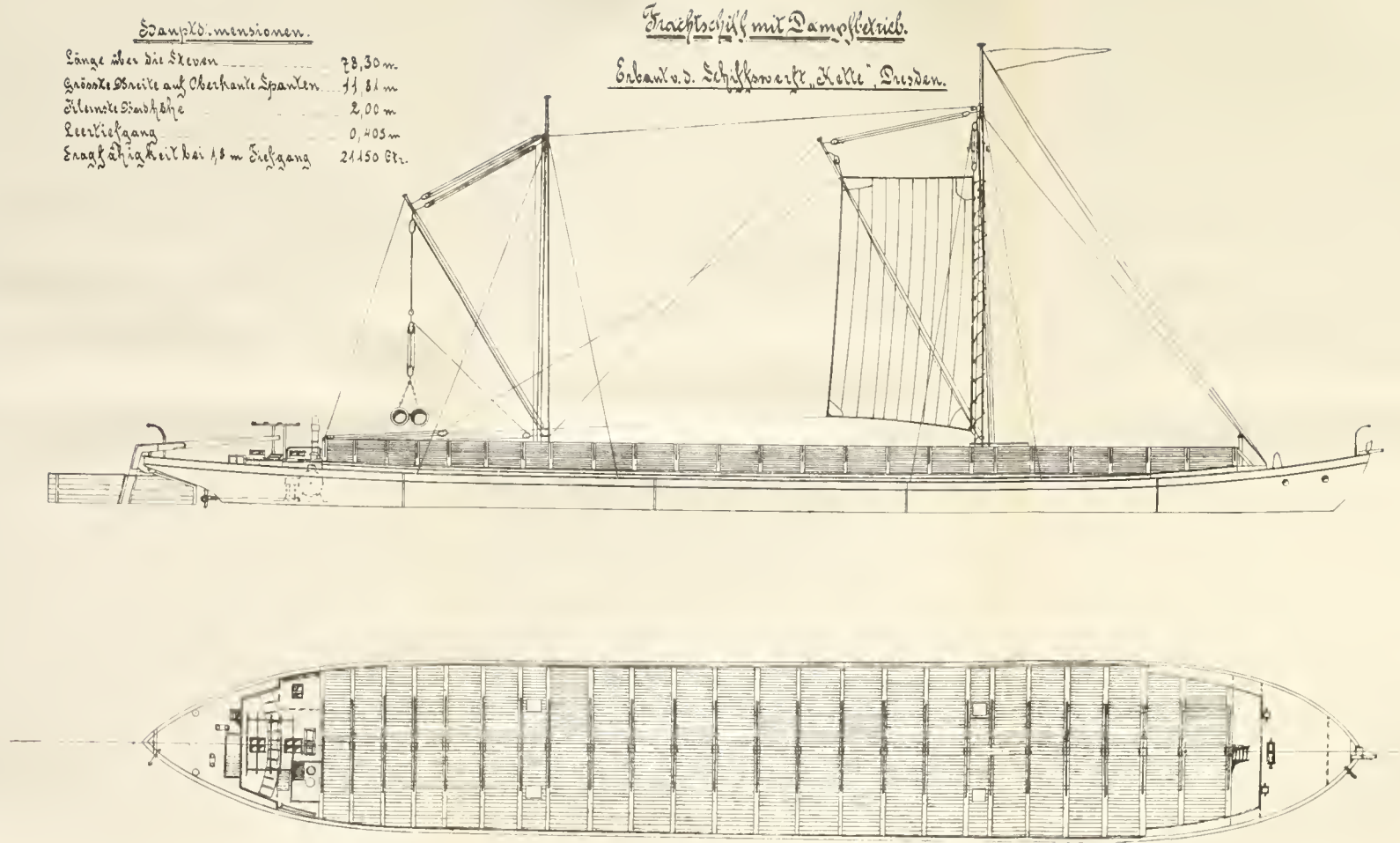
ASSOCIATION INTERNATIONALE PERMANENTE
DES
CONGRES DE NAVIGATION

X^e CONGRÈS - MILAN - 1905

I. Section : Navigation Intérieure
4 Question

RAPPORT
PAR
R. BLÜMCKE

PLANCHE I



LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

ASSOCIATION INTERNATIONALE PERMANENTE

DES

CONGRÈS DE NAVIGATION

X^e CONGRÈS - MILAN - 1905

I. Section : Navigation Intérieure

4. Question

RAPPORT

PAR

R. BLÜMCKE

PLANCHE II.

N^e CONGRÈS - MILAN - 1903

I Section : Navigation Intérieure

4 Question

RAPPORT

PAR

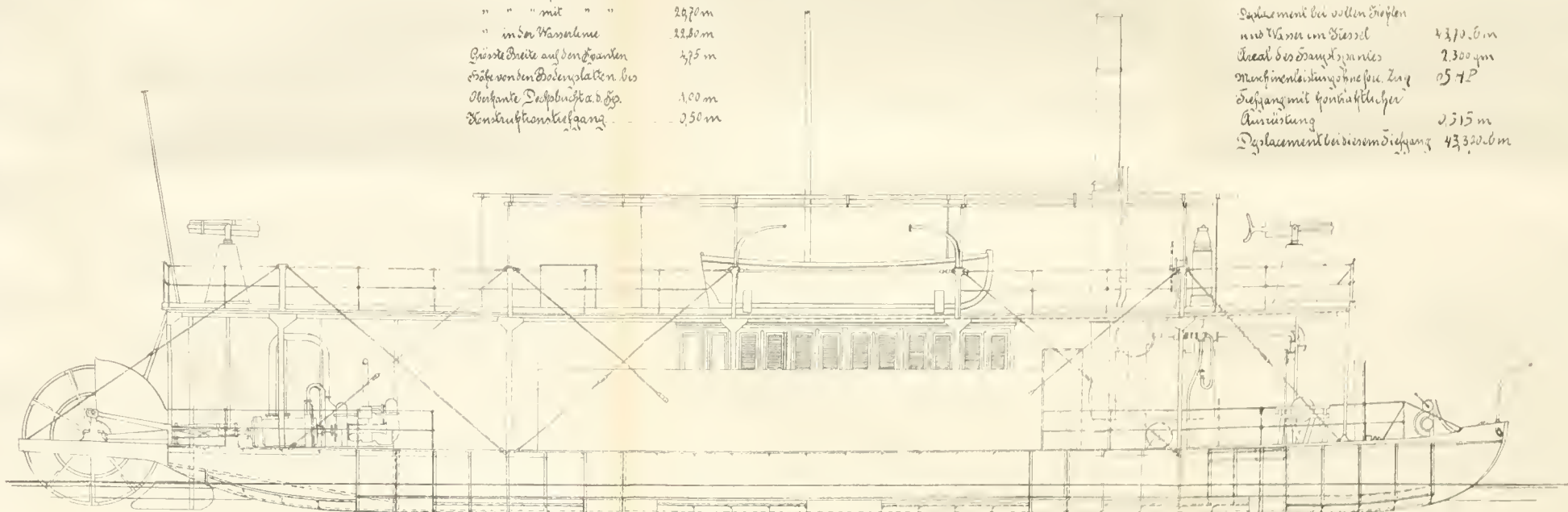
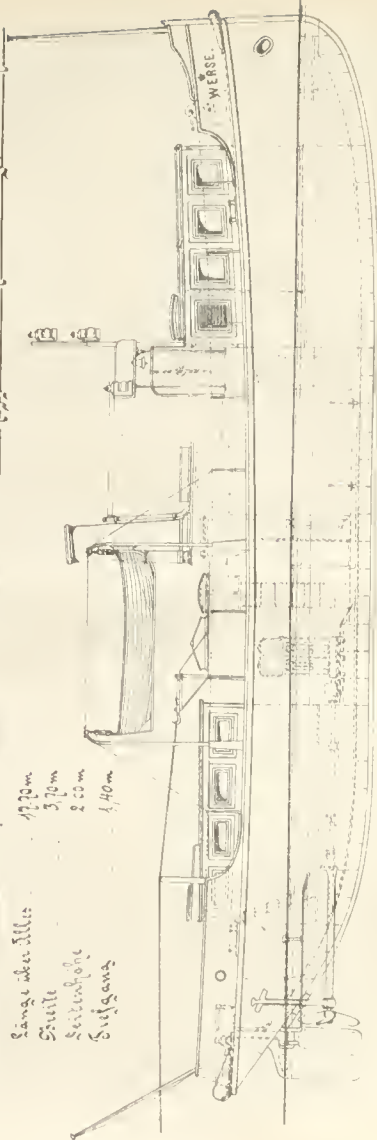
R. BLÜMCKE

PLANCHE II.

Schliff- und Dampfschiff „Eden“

Länge über Alles 17,70 m
Breite 3,70 m
Seitenhöhe 2,50 m
Tiefgang 1,40 m

Eden, von der Schiffbau- und Maschinenbau A. G., Mannheim



„Eden“ Dampfschiff für die Rhein- und Elbe.

Entwurf von Joseph L. Meyer, Sappenburg.

Länge im Deck ohne Aufbauten	24,00 m
„ „ „ mit „ „	29,70 m
„ in der Wasserlinie	22,80 m
Grösste Breite auf den Ecken	3,75 m
Höhe von den Bodendeckeln bis	
Oberrande Deckbühnen d. 1. Deck	1,00 m
Konstruktionstiefgang	2,50 m

Verdrängung bei vollen Ecken	
und Wasser im Stiesel	4372,0 m
Brutto des Dampfzuges	2300 qm
Maximalleistung ohne Feuerzug	257 P
Tiefgang mit konstanten	
Ausrüstung	2,515 m
Verdrängung bei diesem Tiefgang	43320,0 m

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

ASSOCIATION INTERNATIONALE PERMANENTE
DES
CONGRÈS DE NAVIGATION

X^e CONGRÈS - MILAN - 1905

I. Section : Navigation Intérieure
4. Question

RAPPORT
PAR
R. BLÜMCKE

PLANCHE III.

ASSOCIATION INTERNATIONALE PERMANENTE

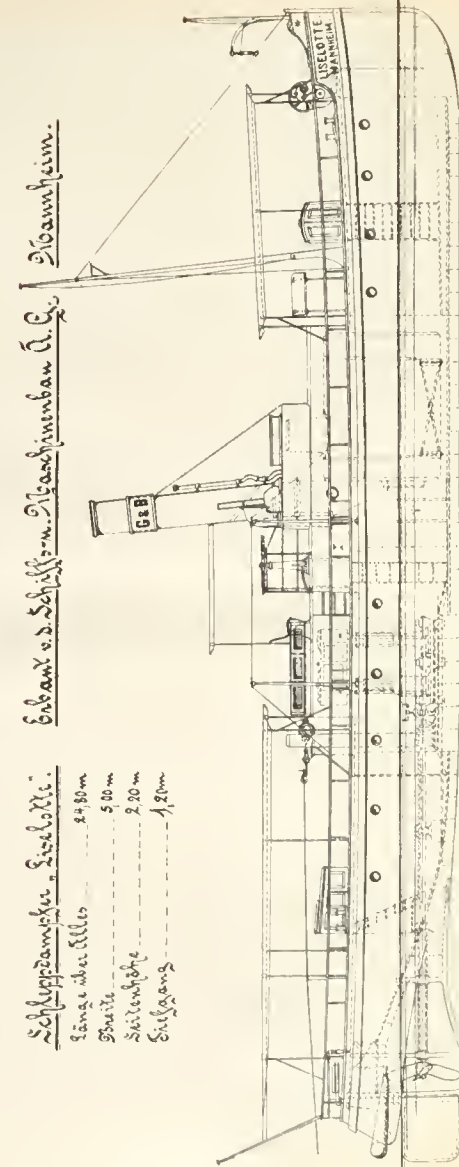
CONGRES DE NAVIGATION

N^e CONGRÈS - MILAN - 1903

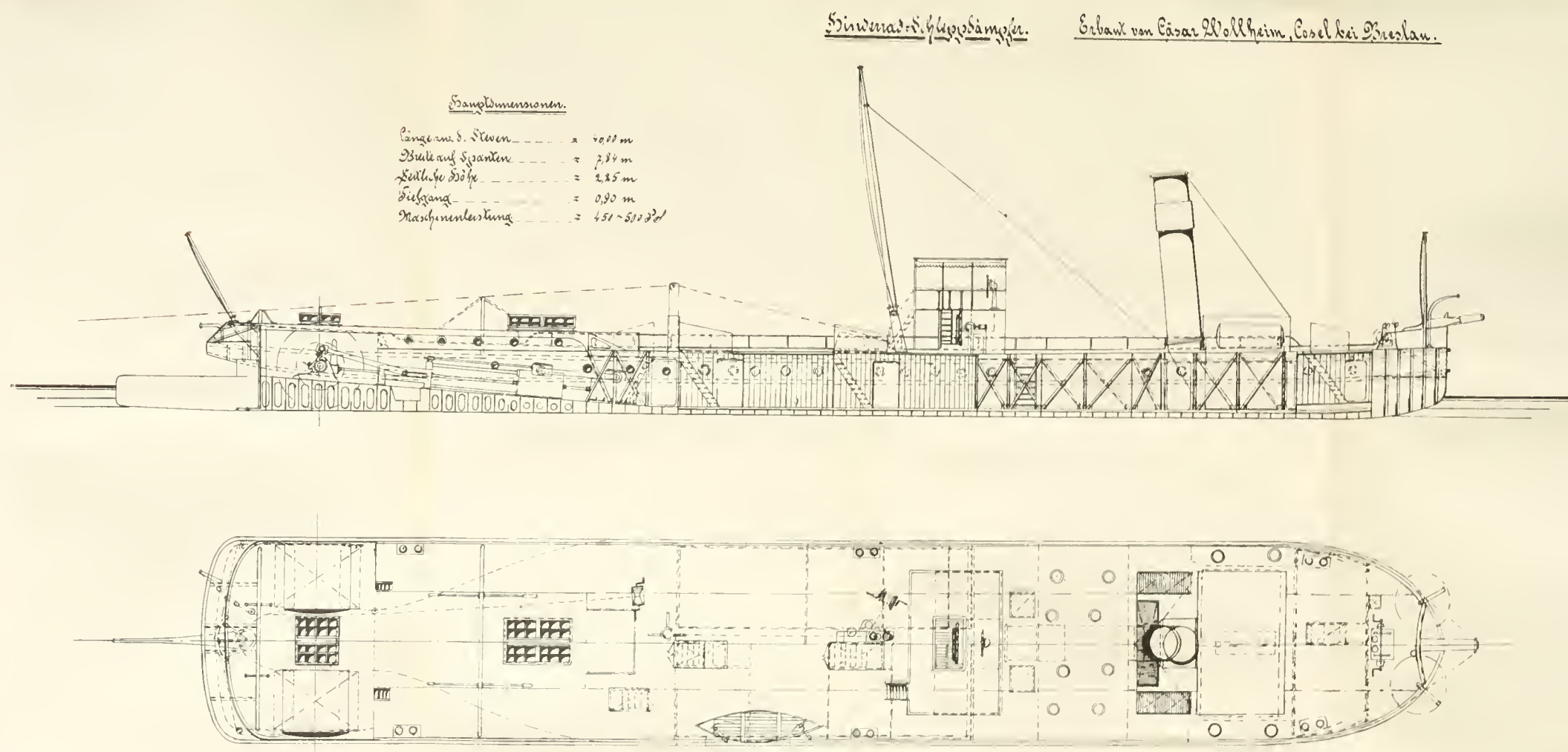
I. Section : Navigation Interieure
4 Question

RAPPORT
PAR
R. BLÜMCKE

PLANCHE III.



Schleppdampfer 'USELOTTE'.
Länge über Alles 40,00 m
Breite 7,84 m
Seiltiefe 2,25 m
Sielgang 0,90 m



Hauptdimensionen.
Länge m. d. Steven 40,00 m
Breite auf Spanten 7,84 m
Seiltiefe 2,25 m
Sielgang 0,90 m
Maschinenleistung 450 - 500 PS

Wismar-schleppdampfer. Erbaut von Caesar Döllheim, Cosel bei Breslau.

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

ASSOCIATION INTERNATIONALE PERMANENTE

DES

CONGRÈS DE NAVIGATION

X^e CONGRÈS - MILAN - 1905

I. Section : Navigation Intérieure

4. Question

RAPPORT

PAR

R. BLÜMCKE

PLANCHE IV.

X^e CONGRÈS - MILAN - 1903

1. Section : Navigation Intérieure

4. Question

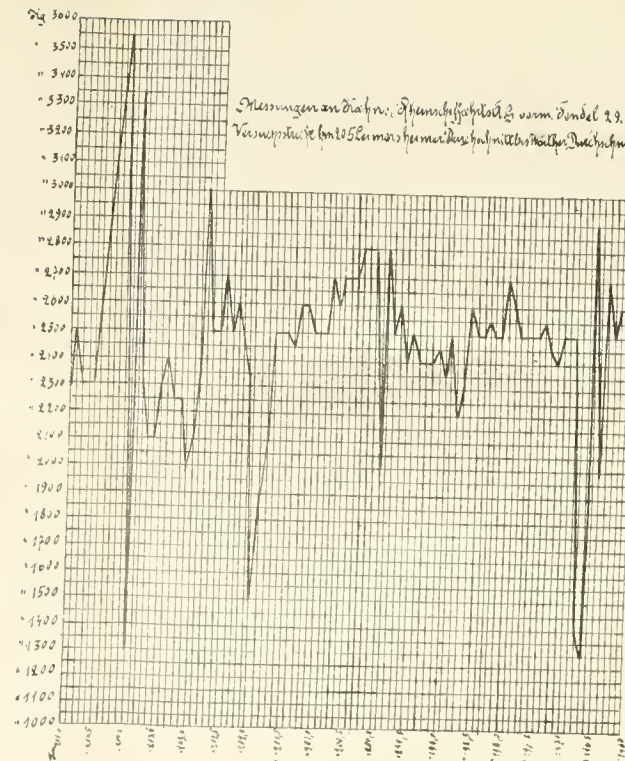
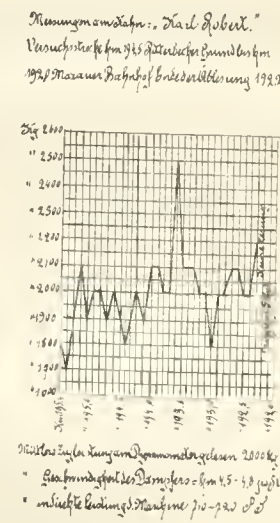
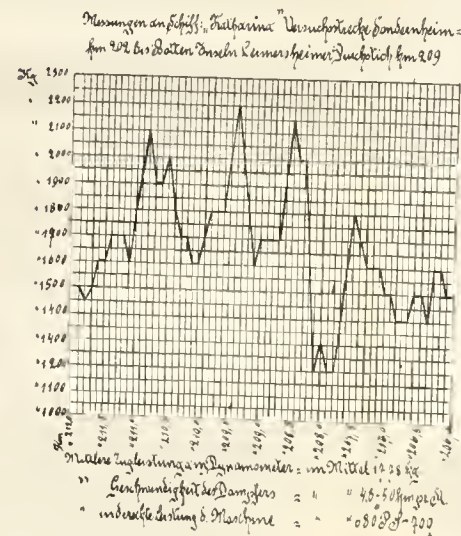
RAPPORT
PAR
R. BLÜMCKE

PLANCHE IV.

Wasserstand Mannheim = 4,35 m

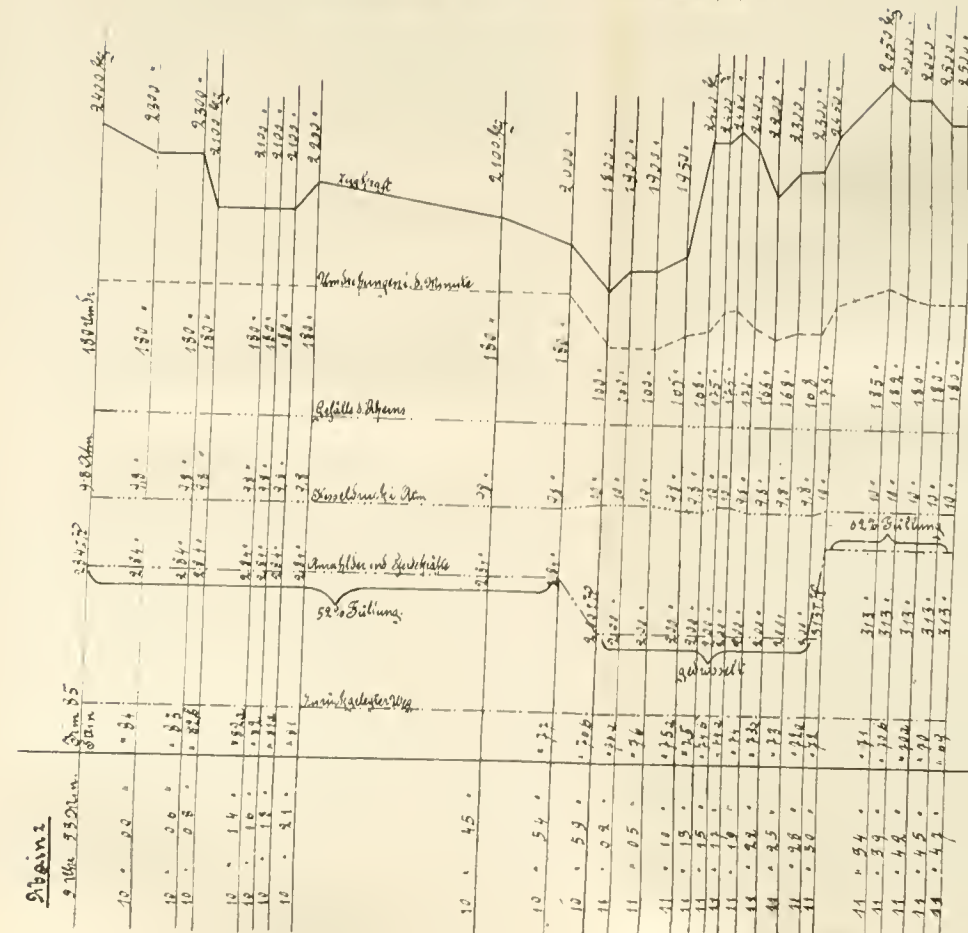
Schleppversuche, Stadt Straßburg Nr. II am 7. 5. 04. Mannh. Straßb.

Anhang: Anna Thalparina Ladung = 900000. Tief 1,5 m Ladefähigkeit 1234000, Tief 2 m
 Karl Robert. " = 10300 " " 1,5 " " 15296 " " 2,1 "
 Nr 29 " = 20000 " " 1,92 " " 33400 " " 2,7 m



Messungen an diahr. Menschenscheitel 2 vom Döbel 29.
Vermessung im 1855er Messungsmaschine mit dem Mittel der Döbel im 196

Badenia X. I. Versuch.
Beide Mähne an einem Strang



PERMANENT INTERNATIONAL ASSOCIATION
OF
NAVIGATION CONGRESSES

X. CONGRESS - MILAN - 1905

I. Section : Inland Navigation
4. Question

DEVELOPMENT
OF
Inland Navigation by means of shallowdraught vessels

MODE OF CONSTRUCTION OF THESE, AND THEIR MOTORS

REPORT

BY

Mr. A. WAHL

*Chief Engineer of the Navy,
on detached service with the Ministry of the Colonies.*

NAVIGARE



NECESSE

BRUSSELS

PRINTING OFFICE OF THE PUBLIC WORKS (CO. LTD.)

18, Rue des Trois-Têtes, 18

1905

DEVELOPMENT OF INLAND NAVIGATION

by means of light draught boats

MODE OF CONSTRUCTION AND MOTORS

REPORT

BY

M. Albert WAHL

Chief Engineer of the Navy, on detached service with the Ministry of the Colonies

A note relative to the utilization of shallow navigable highways was placed, by the author of the present report, before the Navigation Congress of 1900.

That study referred only to natural navigable highways and had nothing to do with navigation on canals.

No great advance has been made since then, so far as known, over what was done at that time, at least from the commercial standpoint and for the needs of every day life.

So, nothing more will be done now than to complete the study mentioned by a few considerations or results of additional experiments, while a few observations will be added thereto as to the use of floating stock driven mechanically on canals, or on other navigable highways of like nature.

I. Shallow navigable rivers.

1° Types of boats suited for operations.

It was pointed out, in the course of the statement made in 1900, that, among the different systems considered, vessels with screws, or propeller wheels, working under an arch seemed most appropriate for the operating conditions of rivers with a small depth at low water.

The few experiments which it has been possible to make since then, or the information which could be gathered, seemed of a sort to confirm that opinion.

A few figures are given, at the end of the present note, which have been obtained by the author during tests of boats of this sort, since 1900, or which have been furnished by builders ; they agree with those laid before the Congress of 1900.

On the other hand, Mr. Yarrow, in a report to the Congress of Naval Architects of 1903, made known some very interesting experiments undertaken for the purpose of finding out the value of vessels of this type as tugs.

Mr. Yarrow completes the arch by the addition of a movable shutter (the principle had already been invented in France, by Mr. Labat, as was mentioned in the author's note, before-mentioned, of 1900). This shutter helps to fill the arch, in getting under way, by the action of the screw.

The towing tests made by Mr. Yarrow were carried on comparatively between a side wheel boat, and a boat with a propeller wheel under an arch ; they gave no result to the disadvantage of the latter.

Experiments in towing were mentioned by the author in his paper of 1900, experiments made with steamboats, having a stern arch and drawing only 35 centimetres, which, even without the addition of Mr. Yarrow's shutter, had given perfectly satisfactory results. More recently, some towing tests were laid down among the conditions under which a boat of the same type would be received. The boat was to draw 0 m. 70. It was built (also without a movable shutter) by Messrs. Claparède Brothers, at Argenteuil, for service in Dahomey. The tests to be applied appear in the table annexed to this paper ; the obligations of the contract were obtained without difficulty.

Studies are now under way to perfect the arrangements used by Mr. Yarrow. The object in view is, evidently, to fill up entirely all the space under the arch and to keep it full, while reducing, below the limits allowed heretofore, the part of the surface of the propeller which is immersed while at rest ; the whole without reducing unreasonably the efficiency of the screw. The result of this would be the possibility of reducing still further the draught of water of boats, with a wheel under an arch, without their use ceasing to be practical.

Furthermore, it is believed that the same result may be reached by a more thorough study of the use of more than one wheel mounted on the same shaft and, if needs be, by adding the use of Mr. Yarrows shutter and proper shapes of arches.

It seems, at all events, that the vessel with wheels under an arch gives even now, and is still further called to give in the

future a solution which, if not perfect, will be at least very acceptable for the problem of light draught river navigation. The forms of the arch have been studied very closely by interested constructors, and an article on this subject, presented by Mr. Berlhe de Berlhe, Engineer of the Bureau Veritas, at the meeting of 1903 of the Maritime Technical Association, gives some very interesting information about the different solutions adopted (arch system of Dubigeon, Oriole or De la Brosse and Fouché, Claparède, Labat, Yarrow, Satre, &c.).

There is no doubt that the type in question does present some disadvantages (a few of which were pointed out in the author's paper at the Congress of 1900), especially a tendency to squat at the stern while in motion, and an increase of resistance, sometimes quite large, when under way if the depth of water under the keel falls below certain limits.

But it must be noticed that, such as it has been used up to now, it has given the means of carrying on some relatively important commercial operations. For example: the *Compagnie des Messageries fluviales de Cochinchine* (Cochin-China River-transportations Company) has commissioned six vessels of this kind, the first about 1890, the last since 1894, four of which do not draw more than 0 m. 70. This company carries by these boats every year 1,000 to 1,500 passengers and 2 to 3,000 tons of freight under conditions of navigation which are very difficult at times.

Mention will be made, merely as a reminder, of the application of this system to the war navy, by recalling that the Austro-Hungarian government has commissioned, recently again, on the Danube, two monitors the « Temes » and « Bodrog », drawing 1 m. 22, with propellers under arches, their length being more than 55 metres and their displacement, 440 tons. They have engines of 1400 HP. (700 HP. each) and can make as much as 10 knots. ,

2° Motors.

It is manifest that screws under an arch can be used with every kind of motor, steam, essence, petroleum or gas.

a) STEAM MOTORS. — There have scarcely been used, so far, in current practice, on boats of this kind, other than steam engines which run relatively fast (300 to 400 revolutions). From the economic point of view this class of motors has been studied

and so perfected that an expenditure of fuel is obtained small enough for operating not to be too costly.

Machines of this kind are well known, hence their description would not be interesting.

It should be pointed out, though, that the application of screws under arches, while leading, in most cases, to the use of two screws, in view of obtaining a sufficient surface of action for the propellers, does not require necessarily, on this account, two motors on board.

Chief Engineer Doyère, of the navy, built recently for the passenger service of the river « Min », a small steamboat, the *Guan-Ki*, which has two screws driven by a single engine, and which has given excellent results (the statements of the tests appear in the table appended to this article).

The arrangement used (applied, it is believed, for the first time in the Navy in the case mentioned) is derived from a few special plants used on shore for rolling mill motors, Root indicators, machines for crushing sugar cane, &c.

The single engine (triple expansion in the case of the *Guan-Ki*) is placed longitudinally in the axis of the vessel, and at equal distances from the parallel shafts ; and each piston drives two symmetrical connecting rods of which the feet are articulated on the same cross head and the heads to the symmetrical cranks of the starboard and port shafts. The slide-boxes are placed on the side, in the machine built by Mr. Doyère, and the slide valves are worked by Stephenson's link motion, of which the excentrics are carried by one of the two crank shafts, which can be called the leading shaft (starboard on the *Guan-Ki*) and the following shaft. The power here was 160 HP at the speed of 300 revolutions. The screws were not symmetrical with respect to the axis of the ship, their diameter being greater than the distance between the shafts. The starboard screw is a little in front of the port.

Although, in the case of the *Guan-Ki*, the available draught of water (0 m. 61) dispenses with the use of the arch and allows the adoption of screws of 1 m. 05, rising, as a result, a good deal out of water when at rest, it seems that nothing prevents this same arrangement of motive apparatus being applied to vessels with arches, when the power to be obtained shall exceed 100 or 150 HP.

There will be, undoubtedly, a very great saving in the weight of the engine, evidently an essential consideration for small draughts of water.

It is to be remarked, however, that in spite of the special arrangement adopted on the Guan-Ki, and in spite of the use of a triple expansion engine and a water tube boiler, the weight of the driving and evaporating plant is still large, being 62 kilog. 5 per HP.

Generally speaking, the greatest disadvantage of the ordinary steam motor applied to light draught boats lies in its relatively great weight.

A few figures of the weights per HP., for a limited number of small steamboats of this kind, are given in Table 2 appended to this article. They lie between 60 and 100 kilogrammes. But the weight of the fuel must be added, and this varies, according to the power of the motor and whether it be condensing or non-condensing, between 0 kilog. 900 and 2 kilogrammes per HP. hour, or, assuming, in a general way, a supply for 10 hours running, a load of 9 to 20 kilogrammes per HP. Taken all in all, the weight to be carried, due to the motor, on the steamboats mentioned in the table, varies between 70 and 111 kilogrammes per *indicated* HP., which is high, and increases greatly the difficulty of the problem.

Recently, Messrs. De la Brosse and Fouché, builders at Nantes, tried to lessen this difficulty by the use of a high pressure engine running at a particularly great speed. They built, for the service of the Ponts et Chaussées, a small steamboat, the *Léon-Bureau*, drawing 41 centimetres, and driven by a 50 HP triple expansion engine. The boiler, of the Du Temple kind, has small tubes and is tested to 25 kilogrammes per square centimetre (= 375 lbs. per sq. in). The propeller is a screw under a middle arch, of the system described in 1900. But, instead of trying to obtain as large a wheel as possible, the builders reduced its diameter to 52 centimetres and made it turn at the rate of 900 revolutions per minute, obtaining thus a very light machine. They reached, with a hull 17 metres long and 2 m. 80 wide, a greater speed than 8 knots, and a coefficient of utilization of 2.17, which is remarkable for so small a propeller turning at such a speed. The total weight of the engine, boiler, water and piping reaches 46 kilogrammes per HP, which gives, assuming a coal consumption of 900 grammes per HP hour and of the fuel supplied for 10 hours, a weight to be carried, per I. H. P., of 55 *kilogrammes*. This figure is interesting, and approaches what can be realized by the use of an essence marine motor studied for a service boat (and not, be it well understood, for a racing craft).

The study of Messrs. De la Brosse and Fouché is certainly, therefore, an interesting contribution to the problem of relatively fast communications by small steamboats on rivers with little depth.

But such high pressures and engines turning at such a speed require exceedingly careful machinists and are scarcely compatible with commercial operations.

It may be asked whether the solution of the problem, by the application of the steam motor, may not be found in the use of turbines.

But the number of revolutions at which turbomotors should work to obtain the powers corresponding to the little vessels under consideration, would be about 3 to 4,000.

It would be necessary, to reduce the number of revolutions of the propellers to a permissible figure, to introduce between the motor and the main shafts a reducing gearing of at least one-third.

Even so, the screws would still make about a thousand revolutions, and they would have to be studied with a view to avoiding the phenomena of cavitation, if their velocity at the circumference rose sufficiently high to cause this phenomenon to be feared.

Furthermore, such a speed would generally allow the diameter of the propellers to be reduced so far as to make the use of the arch, properly so called, unnecessary, and the latter might then be reduced to a sort of oblique plane rising, when at rest, above the surface of the water, as in torpedo boats.

The same motor might drive two propellers (as in the case of Mr. Doyère's machine), by interposing two sets of gearing, one on each side.

The trouble with the use of turbomotors lies especially in the necessity for intermediate gearing which is not to be advised for marine engines. An auxiliary turbomotor would also be required in backing.

On the other hand, the great velocity of rotation of the propellers, would, it is believed, make small vessels fitted with these motors rather unfit for towing. They would be especially suited to mail and passenger service.

The advantage of this system would lie in the facility of running and in the little supervision which these motors require, and most of all in the saving of weight to be had by their use.

Making a brief study of this sort on a turbomotor of the system of Mr. Rateau, Engineer of Mines, there is reached a

saving of *minimum* weight of 10 kilogrammes per HP. as compared with a steam engine of the same power making about 400 revolutions. It must be understood that this figure is given only as a mere pointer.

It would be exceedingly interesting to check it by a detailed study of an installation of this sort. In any event, it would seem to be very desirable to apply this system for light draught boats.

b) EXPLOSIVE MOTORS. — The use of explosive motors is, *a priori*, one of the most tempting solutions of the problem of light draught navigation.

The very small weight of the motor, its getting at once under way, the reduction in the weight of the fuel and the small space required for the latter are such advantages that it seems that the steam motor must be eliminated by these facts alone : Such is not the case however.

It is true that these explosive motors, and most particularly the essence motors, have been applied now for several years to pleasure craft and especially to river navigation.

The recent development of this sport has led to a closer study of the conditions to be fulfilled in order to adapt the motors of automobiles to navigation. Nothing more was done, at first, than to use them, so to speak, without any change, by merely replacing the ordinary connections with the driving wheels by coupling them to the screw shaft.

Interesting results were obtained for pleasure navigation, but, beyond the period of tests, no motor, suited to working navigation and giving all the surety which it requires, has yet been brought, at least so far as is known, into daily use.

There is between these two kinds of navigation a difference similar to that existing between the automobile carriage and the automobile dray. The automobile carriage, built for high speed and supplied with a motor of suitable power, develops its maximum speed and corresponding power, as a rule, only rarely and intermittently (no mention is made here of races which require so to speak, perfect machines, a selected crew and constant watchfulness, to see that the motor works all the time at the limit of its power). Hence the motor is considerably over calculated for every day service. The number of revolutions of the engine is also high, the weight of the carriage is as light as possible and, as a consequence, the power per revolution is much reduced.

Quite another thing is the automobile dray in which, for a moderate but constant rate of motion, the minimum weight demanded by the needs of hauling is to be moved. Here the engine must necessarily develop constantly, for a relatively small number of revolutions of the driving wheels, if not its maximum power, at least very nearly that power. Besides, it should be equal to the effort of starting, and its weight should remain not too great, so as not to reduce beyond reason what can be used for the load.

Now, if a number of excellent motors exist for automobile carriages, there are few, or none, which are *economical* for drays ; and it is not believed that, so far, drayage contractors or those engaged in heavy hauling have found any real advantage in substituting the explosive motor for animal traction, or even in preferring it to the steam motor.

In the same way, the marine engine should, above all things, run constantly and give *always and steadily* the service power for which it was made, and which should insure to the boat, when fully loaded and for the entire time of the trip, the minimum speed guaranteed. These conditions are indispensable in any commercial operation.

If it be a question of light draft boats, the weight of the motor should be reduced also to the minimum, under penalty of losing the essential advantage of the application of the motors of this type to this sort of navigation.

In any event, the speed of the motor should not exceed the limits necessary to obtain a suitable utilization of the propeller, and to avoid the phenomena of cavitation. For this reason, here as in the case of drayage, one is led to developing a relatively large power per revolution.

If the vessel have to serve as a tug, which is one of the most frequent conditions from the commercial point of view, a moderate number of revolutions becomes a still more absolute obligation.

It is true that this last difficulty can be remedied by driving the screw shaft with a train of gears. But, as stated in the article of 1900, that is a solution which can scarcely be recommended for marine engines.

All these conditions together make the construction of an explosive motor for light draft navigation an exceedingly complicated problem.

If now the various classes of explosive motors, which might be applied to the particular case, be examined, reservations

crop up at once about the use of the type which has been the best studied and the only one which has become widely introduced in practice, that of the essence motors.

In what concerns navigation in the colonies especially, a question which the author has studied very closely, the use of essence is hard to apply on account of the difficulties, for supply, caused by the rapid evaporation of this product under the action of the temperature outside, in spite of all the precautions that can be taken.

From a more general point of view, the keeping of so inflammable a product on board of *freight boats* involves grave risks and troubles. In order to provide a remedy against them, the quantities taken on board have to be kept within narrow limits, and supplies have to be maintained at a number of landings, which is not always possible.

On the other hand, the high price of essence will be a heavy tax on operating when valuable freight, which can pay high rates of transportation, is not among the articles to be carried.

Finally, the regulating of the carburation, which is always a delicate matter, and which is the essential condition of good running, is complicated, where navigation is concerned, by the influence of the surrounding humidity on the degree of saturation of the air which enters the mixture.

The use of refined petroleum does away with the trouble of the storage on board of a dangerous product. As large a supply as may be necessary can be carried. But the observation just made in regard to carburation still holds.

It is also a well known fact that refined petroleum leaves in the cylinders, on the ignition plugs and the valves, after the explosion, residues which foul the machine very quickly and stop its working after a little time. Various attempts have been made to overcome this trouble by different means, but the result is not known.

This trouble is aggravated by the difficulty of finding in the market, as things are now, identical refined petroleum when they come from different quarters and, at times, even when they come from the same place. Such a machine which will work well with a certain petroleum, will give poor results with a product bearing another mark, even with identical density.

Finally, the density and composition of the petroleum vapor itself, produced by the heating of refined petroleum, vary sometimes from one moment to the next.

The result of all these circumstances is an uncertainty in the

production of the explosion and changes in speed, *instantaneous at times*, which are incompatible with the regular movement required of a freight boat.

These disadvantages are undoubtedly less noticeable in machines of this sort working on land. It is easy, in this case, to supply the petroleum. The maintenance of the motor is more convenient, and, moreover, as the question of the weight of the motor and the space it occupies does not enter, it is easier to remedy the troubles mentioned above by suitable arrangements.

There is no doubt that the difficulties in question will be overcome even for marine engines.

But, as things are, it must be acknowledged that marine motors using essence, and especially refined petroleum (if the engines for racing boats be excepted) are far from attaining the lightness of their fellows of automobile locomotion, so soon as as powers of 50 or 60 HP only are desired. The fly wheels, especially which have to be added to these motors to steady their running increase greatly the weight per HP.

Table No. 3, added to this paper, mentions a few weights of essence or petroleum machines of various types and especially under 1° those of several engines studied to be used as motors for yawls, and determined for this purpose by Mr. Guilloux, Engineer of naval constructions. These machines are for work and not for sport and in accordance with the kind of navigation considered in this report. Now, it is clear from the table that, even with *essence* motors, the economy of weight which might be expected is far from being realized, and that the heavy petroleum motors equal and exceed the weight of a steam engine of the same power.

The comparison of the figures entered under 1° and 2° of this table, with those of a few racing motors, would show clearly how far apart the two classes are. As an example, there is given, opposite those which precede, the weight of the « Delahaye » essence motor placed on board the racer Titan, built after plans by Mr. Guilloux. The engine of this boat weighs in all, with its supply of essence, 740 kilogrammes for 55 effective HP., that is less than 14 kilogrammes per HP. It is true that this machine makes 1,500 revolutions, and that the hull itself, made of two thicknesses of diagonal planking 3 centimetres thick, weighs only 800 kilogrammes with its appointments.

The conditions are altogether different when it is a question of laying down a boat *for service*. And it seems to follow clearly from what has been said above, as well as from the figures

given, that neither the essence nor the petroleum motor gives, so far, the engine, both sufficiently light and perfectly safe, required for light draft navigation.

The poor gas motor remains to be considered.

Here, it seems, there is no uncertainty of explosion, no groping about in the matter of carburation ; the use of an economical fuel, with a relatively small consumption per HP. hour ; such would seem to be at first glance the advantages of this system.

But all the parts together, motors, purifiers, generators, &c., come up to such a weight that, under existing conditions, there would be no great saving over the steam engine.

An attempt has been made to calculate the corresponding weights and it has been found that a poor gas motor (see Table No. 4), of 60 effective HP, running at 400 revolutions, would weigh from 125 to 150 kilogrammes per HP (generator, motor, purifier, &c., including the water and including also the fuel laid in for ten hours).

Now, if this apparatus be compared, for example, with the 65 HP. steam engine, making only 325 revolutions, of the launch for Cayenne given in Table No. 2, it is seen that, in spite of the high consumption (1 kilog. 50 per HP. hour) anticipated for this latter, the total weight of the fuel amounts to only 92 kilog. 50 per I. H. P., or about 115 kilogrammes per effective HP (fuel for ten hours included).

It follows, from what precedes, that none of the solutions examined appears satisfactory so far as the choice of a motor for navigation in shallow water is concerned.

It is the author's opinion that the solution may be found in the use of a motor working not only by explosion, but also by combustion in the cylinder, so as to be able to utilize, at least to a great extent, *cheap* heavy oils of various kinds and densities. It would be, in a way, the combination of the Diésel motor and the explosive motor, the object of the combustion being to avoid, so far as possible, the fouling of the cylinders caused by the residues of the explosion.

There is now under study the application, to a small postal steamer with a screw under the stern arch, of an apparatus based on this principle and exploited by the *Société pour l'application à la navigation et aux chemins de fer des moteurs Fabre* (Society for applying the Fabre motors to navigation and railways).

The boat draws 0 m. 30 ; the propeller, 0 m. 60 in diameter,

will make about 400 revolutions, the motor developing 14 effective HP.

The engine must work at full speed with all raw oils indifferently, such as Texas and California petroleums, Mazout, arachide (1) oil, and coal-tar oil, the builder guaranteeing that no fouling of importance will have been caused after six months of steady work.

The fuel, whatever it may be, is first pulverized by a pressure of air given by a special pump, then vaporized in a retort, forming a carburator, through which the drawing-off gases pass. The consumption is not to exceed 0 kilog. 50 per HP. hour, whatever the fuel used.

But, here again, the weight of the engine is still great. It is more than 100 kilogrammes per HP. Still it may be hoped that this figure can be sensibly reduced on motors of this same type, but of greater power.

II. **Mechanical traction of boats on canals or similar navigable highways.**

The problem of mechanical traction on canals has long been under study.

Attempts have been made to substitute for animal traction steam or electric towing, either by means of motors running on the tow path, or by the aid of the current taken on the bank. Save in a few exceptional cases favored by local circumstances, there have been obtained no solutions sufficiently practicable to realize, certainly, any marked economy over animal traction.

Hauling on a chain is scarcely applicable, especially on account of the many locks.

Towing is practicable only with difficulty by reason of the narrowness of the water surface, and of the damage done by a tug, either side-wheel or screw, to the sides and bottom, even when running quite slowly. Furthermore it can only be economical when applied to long lines of boats which, as a rule, can only pass the locks by being broken up, and then being reformed on leaving them, which complicates greatly the service.

An interesting attempt on this order of ideas should be recall-

(1) Arachide is a plant grown in Senegambia: the oil is obtained from the seed.

ed, however, in the P. Jacquiel system (propelling motor and barge coupled together) which was applied about 1879.

The propelling boat is formed of a small steamboat of elliptical shape, a little less wide than the canal boat and its length being about three-quarters greater than the width. It carries a steam engine, of about 30 HP., which drives a screw. Its draught of water is that of the canal boat when fully loaded. In the stern of the boat is a concavity in which the little steamboat in question can fit itself exactly. A system of tying together lets the propelling boat form a part of the canal boat.

When the latter is fully loaded, the whole has the appearance of a single barge with its motor astern, and everything goes on as if such were the case. When the boat is light, only a change in the system of attachment has to be made, and the push of the motor boat is exerted on the part of the two hulls which remain in contact. For a canal boat 5 metres wide, 30 metres long, carrying 250 tons and having 2 m. 20 depth of hold, the propelling motor was 7 m. 85 long, 4 m. 40 wide and 2 m. 40 deep.

This system evidently allowed the service of a number of boats exactly alike to be carried on with a less number of motors, the latter being detached when the boat was tied up for unloading or any other reason.

A few motors and barges built on this plan are still working, it is believed, at Rouen.

But the mere fact that this system was not further applied, but has also, so to speak, fallen into oblivion, shows sufficiently that the practical solution of the problem is not to be sought in this direction.

The road to be followed would be rather, it is believed, in the study of the automobile canal boat.

The difficulty here lies not only in the choice of a suitable motor, sufficiently economical to compete with animal traction, but also in the possibility of using the same motor no matter what the amount of the boat's load, whether light or fully laden.

An ingenious arrangement, in this order of ideas, was worked out by Mr. Fernex.

As a description was published in 1901, nothing more will be done than to recall that this system consists in placing the motor, generally a portable engine, vertically on a movable platform inside of a water-tight compartment. The motor drives two wheels at the stern of the boat, and the regulation of the height of the platform allows the position of the axis of the wheels to be displaced to correspond with the load and the

draught of the boat, so as to have the immersion of the blades always the same under all conditions of navigation. Mr. Fernez has also studied a variation of this plant, by replacing the movable platform with a float set in the stern of the boat.

This system is certainly interesting and gives undoubtedly the means of obtaining the slow speed necessary for navigation on canals.

But it has the disadvantage of requiring a skilled machinist on board of the boat and causes, by this one fact, extra expenses which are a pretty heavy tax on the operating receipts.

Lastly, some interesting studies have been undertaken to apply poor gas machines to the traction of canal boats.

Messrs. Desbois, Rancelant and Ollivaud, builders at Choisy-le-Roy, built, under the supervision of the Bureau Veritas, and on account of the *Société des Bateaux automoteurs du Centre* (Society of automotor Boats of the Centre) some steel boats 38 metres long and about 5 metres wide, carrying 250 tons.

Their shape is taken from the last studies or experiments made in the matter and especially from those of Inspector-general Mas of the Ponts et Chaussées.

The « Fram » poor gas motor, of the vertical motocyindrical type, developes 20 effective HP on the shaft. Its normal rate of motion is 200 revolutions. It drives a reversible screw which is handled from the deck.

The gas generator and purifier are placed immediately in front of the motor ; the water-supply box is placed on the deck ; the water for circulation is taken from outside by a special pump. The fuel bunker has the form of a locker, and the whole is so arranged as to take up only an insignificant space in proportion to the cargo hold.

The problem of applying the motor to the extreme conditions of load for the boat is solved in the following way. A first shaft driven directly by the motor carries a screw of large diameter placed to suit the normal conditions of the full load. The same screw still serves in case of part of the load being removed, letting the end of the blades come out of water as happens with sea going vessels running light or in ballast.

A second propeller wheel, a good deal smaller, is arranged to remain completely under water when the boat is light ; its shaft is then driven by means of a gear wheel keyed on the main shaft (from which the screw is thrown out of gear), which allows to be given a number of revolutions suited to the smaller surface of the second wheel.

The working of the motive apparatus seems very simple, in any case, and does not appear to need a skilled machinist. The builders say that the ordinary crew is sufficient for the service after a few days' instruction, as the motor needs little supervision and only requires the generator to be charged at regular intervals, and the oil cups to be filled.

According to Messrs. Desbois, Rancelant and Ollivaud, the boats described above gave the following results at the tests on the Seine : with a load of 150 tons, speed downstream 12 kilom. 40 ; speed upstream 4 kilom. 60 ; mean 8 kilom. 50 ; — with a load of 250 tons, speed downstream 8 kilom. 40 ; speed upstream 3 kilom. 30 ; mean 5 kilom. 85.

These speeds are, evidently, largely sufficient for the needs of navigation.

The consumption of anthracite noted during these trials was about 600 grammes per HP hour.

Mr. Guilloux, Engineer of naval constructions, starting in like manner from the use of a poor gas motor, has studied out for the Southern canal, an automobile barge of less displacement, but of much greater speed. The principal data are : —

Draught of water with full load, 1 m. 10.

Corresponding displacement, 136 tons.

Weight of the motor, 4 t. 50.

Weight of the hull, 25 t. 50.

Available for the load, 106 tons.

Power of the motor, 30 HP.

Speed with full load, 8 kilometres.

The propeller in this case is a single screw, making 800 revolutions under a full head of steam. When the barge is light, the propeller is kept sufficiently under water by means of water ballast, placed in the stern, the tank being filled by a pump driven by the motor through a gall chain and disconnecting gear.

The consumption of fuel anticipated per HP hour is 0 kilog. 50 of nut coal.

It would be extremely interesting to be able to compare the net cost of running canal boats by poor gas motors, with that of the same stock towed by animal power.

Unfortunately there are not at hand, for this question, any authentic data taken from experience.

Only the probabilities which, it seems, may be obtained from calculation can be given.

Starting from Mr. Guilloux's study, and assuming 5 kilometres at 20 HP as a *practicable* speed, the coal consumption per kilometre will be $\frac{0,500 \times 20}{5}$, or 2 kilogrammes. The value of the fuel used being put at 30 francs a ton, the kilometric cost will be 0 fr. 06, or for a load of 100 tons, 0 fr. 0006 per kilometric ton. To this figure must be added the cost of oil and of charcoal for kindling, say, in round numbers, a total of 0 fr. 001 per kilometric ton.

It is believed that this figure should be considered as a maximum in practice, for the calculation applied to the boat carrying the usual load (3 to 400 tons) would give a sensibly less kilometric cost.

If it be desired to compare the cost of running a boat of this system with that of the same boat towed by animals, it should be noticed that the expenses of the crew as well as the depreciation and interest are the same in both cases, save the following increases which belong to the poor gas boat : —

1° Cost of maintenance of the motor ;

2° Depreciation and interest on the cost of the motor ;

3° Depreciation and interest on the difference existing between the cost of a hull for animal towing and that of hull arranged to receive the motor and made less « bluff » in order to obtain the anticipated speed. It may be assumed for this calculation, that the difference of cost between the two boats (with and without motor) will be from 15 to 20,000 francs.

The few costs of animal traction which could be gathered are :

On the Saint-Quentin canal (boats of about 300 tons), 0 fr. 003 per ton of tonnage and per kilometre, plus 0 fr. 0013 per ton of freight, or 0 fr. 0043 per kilometric ton for the loaded boat.

On the Oise, towage cost 0 fr. 80 per kilometre per loaded boat, and the same price for two empty boats coupled together. Hence, the cost of transportation per kilometric ton for a boat carrying 300 tons would reach 0 fr. 0027.

As a matter of comparison, it will be recalled that the price of towing on the Rhine, from Cologne to Rotterdam, is, from documentary data at hand, 0 fr. 003 per kilometric ton.

Hence, the margin applicable to reimbursing the cost of maintenance of the motor, as well as to depreciation and the interest on the extra cost of a poor gas boat varies, from the above figures, and according to circumstances, between 0 fr. 002 and 0 fr. 004 (in round numbers) per kilometric ton.

This is certainly very little, if the depreciation fund is to be made up in a very short time.

But, beyond the existence of regions where the cost of animal traction is much higher, account should be taken of this fact that the automobile, and consequently autonomous, boat would be able to carry on a more active service, and would be less exposed to stops and delays of every sort due to local circumstances. Its economic efficiency would therefore be better, and would enable it to cover an increase of expenses.

It is considered, in any event, that the trial of this system would deserve to be developed and that it would be interesting to collect as complete data as possible on the economic results which practice will bring out.

III. Conclusions.

To sum up: it may be said that, within these last few years, the study of the shapes of hulls suited to river navigation, and especially that of the arrangement of arches, has made a sensible advance.

So too, the study of the shapes and dimensions of canal boats has led to real improvements, which, however, have been too little developed up to now.

But the problem of the appropriate motors both for light draught steamboats and automobile canal boats, seems far from being solved from the point of view of daily commercial practice.

Consequently, the author proposes to engage the next Congress to study the following questions, if they should not be the object, at the present meeting, of communications of a sort to throw light on them:

1° A comparative study of the different motors, steam, essence, heavy oil, gas, or any others, suited to *commercial* navigation on rivers having a small low-water depth. A comparison of their weights, efficiency, consumption and endurance.

2° A comparative study of the different motors of every kind suited to canal navigation. A study of the net cost of transportation per kilometric ton by each system, taking into consideration all the elements such as fuel consumption, maintenance of the crew, depreciation, &c. ; and a comparison of these figures with the net cost of the same transportation by animal traction.

Paris, December 7., 1904.

A. WAHL.

TABLE I

Data and comparative results of experiments on different types of light draught steamboats

1. Boats with more than 0 m. 50 draught of water.

DESIGNATION OF THE VESSELS	Displacement P.	Length between perpendiculars L.	Width l.	Draught of water p.	Power obtained at trials F.	Number of revolutions	Speed in knots V.	Utilization M.	Diameter of the propeller	Immersed surface of the midship frame B²	Coefficient of fineness		OBSERVATIONS
											P. B² L.	P L l p	
I	Tons	Metres	Metres	Metres	H P.				Metres	Metres			The speed and utilization of the <i>Guani-Ki</i> are only approximate by reason of the special conditions of the tests which leave the observations some what uncertain.
Steamboats with ordinary screws													
<i>Guani-Ki</i> , with 2 screws and 1 engine.	45	22.00 overall 22.50	5 25	0.61	100	270	8	2.56	1.05	3.30	0.685	0.633	
II													
Steamboats with screws under arches													
Gunboat <i>Argus</i> with screws under arches.	127.5	44.20	7.30	0.61	587	291	13.43	2.59	1.016	4.21	0.685	0.663	Running free. The same towing a barge of 3 m² 75 at the midship frame made 5.6 knots during the trials.
Launch with screw under arch for Guiana. Dubigeon System	18	16.00 overall 17 00	3.60	0.70	64	329	8.61	2.7	0.95	1.98	0.567	0.445	
Steamboat for Dahomey with 2 screws under arches.	62.6	25.50	4.60	0.72	181	239	8.9	2.3	0.96	3.14	0.781	0.741	
<i>Liotard</i> , steamboat with 2 screws under arches, system of Claparède Brothers	53	25.00	4.60	0.65	142	316	8.5	2.25	0.82	2.64	0.803	0.709	
<i>Pé-Han</i> with 1 screw under arch, system of Claparède Brothers. . .	11.4	12.00	2.30	0.70	42	310	7	2.25	0.90	1.38	0.727	0.590	
2. Boats with draughts of less than 0 m. 50 and with screws under arches.													
Mail despatch boat for Madagascar with 1 screw under stern arch, of system de la Brosse and Fouché	4.3	10.00	2.22	0.43	24	365	7.45	2.44	0.61	0.835	0.513	0.452	
Steamboat <i>Léon Bureau</i> , for the service of the Ponts et Chaussées, with screw under middle arch . .	12.3	17.00	2.80	0.41	50	900	8.1	2.17	0.52	0.95	0.761	0.630	
Steamboat <i>Tinkisso</i> , with, 1 screw under stern arch, system of Claparède Brothers	5.2	10.00	2.30	0.365	20	380	7.07	2.36	0.65	0.75	0.693	0.619	
<i>Kouango</i> , steamboat with 1 screw under stern arch, system of Claparède Brothers	32.5	22.30	4.00	0.50	70	300	7	2.13	0.90	1.96	0.743	0.733	

TABLE 2

Steam motors

Weights of the driving and evaporating apparatus and of the fuel supply for ten hours

DESIGNATION OF THE VESSELS	Draught of water	Number of revolutions anticipated	Horse power anticipated	Weight of driving and evaporating apparatus with line of shafting, screw, piping, water in the boiler.	Weight per HP. $\frac{P}{F}$	Coal supply for 10 hours C	Total	Total weight per HP. $\frac{P+C}{F}$
	Metres		F	P	Kilog	Kilog	Kilog	Kilog
Gunboat <i>Capitaine Flayelle</i> with 2 screws under arches middle	0.71	350	130	10,355	79,500	2,600	12,955	99,500
Launch with screw under stern arch for Cayenne .	0.80	325	65	5,050	77,600	975	6,025	92,500
Mail despatch boat with screw under stern arch for Madagascar . . .	0.45	340	22	1,545	70,000	396	1,941	88,000
Steamboat for Dahomey with 2 screws under stern arches	0.70	290	150	15,170	101,000	1,500	16,670	111,000
Steamboat for <i>Guan-Ki</i> with 2 screws without arches .	0.61	300	160	10,000	62,500	1,440	11,440	71,500
Mail despatch boat with 2 screws under stern arches for Senegal . . .	0.35	375	60	4,000	66,000	650	4,650	77,500

Note. — The values of the powers put down in this table are given in *indicated* horse powers. In order to compare them with the powers of the explosive motors in Table 3, they should be reduced by 20 to 25 %. In like manner, in order to compare the *weights per horse power* in this table with those of Table 3, the *able weights per horse power* should be increased by 20 to 25 %.

1. Approximate weights of various explosive engines studied for use as motors with yawls

A. — Essence Motors

TYPE	Number of revolutions	Horse Power F	Weight of the motor with its carburetor P	Weight of the running load p	Tank and piping p'	Fuel supply for 10 hours p''	Total weight P+p+p'+p''	Weight per HP. P+p+p'+p'' F
			Kilog.	Kilog.	Kilog.	Kilog.	Kilog.	Kilog.
Gnome.	600	60	1,200	150	500	300	2,150	36
Panhard or Delahaye	1,500	60	500	100	500	300	1,400	23
Abeille (Dalifol).	650	60	1,500	150	500	300	2,450	41

B. — Heavy petroleum motors

Kapitain (can also be used as a gas motor)	400	60	3,300	200	600	350	4,450	74
Duplex (can also be used as gas motor without impor- tant change, supplied with a compressed air starter).	400	60	5,000	300	700	350	6,350	106

2. Weights various motors using refined petroleum for yachts or causes

Priestmann (yacht <i>Fleur de France</i>)	240	30	3,700	1,000	100	180	4,980	166
Gnome (service boat for the Suez-Canal)	300	13	1,200	300	55	60	1,615	124
Sautter Harlé motor for 10 metre canoe to be sent to the Ivory Coast	800	10	392	161	46	45	644	64

3. Weight of a racing motor

Delahaye motor of the racer <i>Titan</i>	1,500	55	450	50	30	210	740	13,500
---	-------	----	-----	----	----	-----	-----	--------

TABLE 4

Approximate weights of motors for poor gas

	Effective Horse Power F	Number of revolutions of the motor	Weight of coal in use and water P	Weight of the generator above and of its accessories per HP. $\frac{P}{F}$	Supply of coal for 10 hours p	Weight of the motor p'	Total Weight $P + p + p'$	Weight per effective HP. $\frac{P + p + p'}{F}$	OBSERVATIONS
			Kilog.	Kilog.	Kilog.	Kilog.	Kilog.	Kilog.	
Anthracite generator, Taylor type, quick speed, with Duplex motor.	20	400	1,300	65	100	3,000	4,400	235	With an engine of only 250 revolutions and a suitable generator, a total weight of about 280 kilogrammes per effective HP, would be reached.
The same, with Duplex motor . .	60	400	3,650	72.5	300	5,300	9,250	154	
The same, with Kapitain motor .	20	400	1,300	65	100	1,750	3,150	162	
The same, with Kapitain motor .	60	400	3,650	72.5	300	3,500	7,450	124	
The same, built for 100 effective HP	100	400	5,150	51.5	500	—	—	—	

	Effective Horse Power F		Weight of the apparatus empty P	Weight of the coal in use and Water p	Weight per Horse Power $\frac{P + p}{F}$
(Generator for slow speed able to burn hard coal. Fichet and Heurtey type (exclusive of motor).	20	}	Kilog. 4,000	Kilog. 600	Kilog. 230
	50		7,500	800	166
	100		10,500	1,200	117



627.06
INR
1885

ASSOCIATION INTERNATIONALE PERMANENTE
DES
CONGRÈS DE NAVIGATION

X^e CONGRÈS - MILAN - 1905

I. Section : Navigation Intérieure
4. Question

DÉVELOPPEMENT DE LA NAVIGATION INTÉRIEURE

au moyen de bateaux à petit tirant d'eau

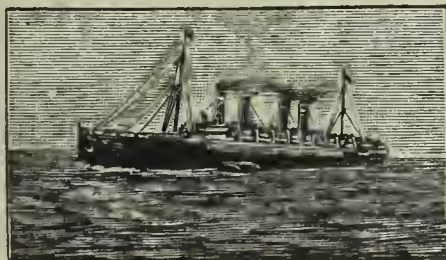
MODE DE CONSTRUCTION ET MOTEURS

RAPPORT

PAR

M. Albert WAHL

Ingénieur en chef de la Marine, détaché au Ministère des Colonies



NAVIGARE

NECESSE

BRUXELLES

IMPRIMERIE DES TRAVAUX PUBLICS (SOCIÉTÉ ANONYME)

18, Rue des Trois-Têtes, 18

1905

**Développement de la Navigation intérieure au
moyen de bateaux à petit tirant d'eau.
Mode de construction et moteurs.**

RAPPORT

PAR

M. Albert WAHL

Ingénieur en Chef de la Marine détaché au Ministère des Colonies

Nous avons présenté, au Congrès de navigation de 1900, une note relative à l'utilisation des voies navigables à faible mouillage.

Cette étude ne se rapportait qu'aux voies navigables naturelles et n'avait pas trait à la navigation par canaux.

Depuis lors, il n'a pas été réalisé, à notre connaissance, de progrès très sensibles sur ce qui était pratiqué à cette époque, du moins au point de vue commercial et pour les besoins de la pratique courante.

Nous nous bornerons donc, actuellement, à compléter l'étude précitée, par quelques considérations ou résultats d'expériences complémentaires, et nous y ajouterons quelques observations concernant l'emploi de matériel de batelage actionné mécaniquement sur les canaux ou autres voies navigables de même nature.

I. Voies fluviales navigables à faible mouillage.

1° Types des bateaux appropriés à l'exploitation.

Au cours de l'exposé que nous avons fait en 1900, nous avons indiqué que, parmi les différents systèmes envisagés, les navires à hélices sous voûtes semblaient les mieux appropriés aux conditions d'exploitation des fleuves ou rivières à étiage réduit.

Les quelques expériences qu'il nous a été possible de faire depuis lors, ou les renseignements que nous avons pu recueillir, nous paraissent de nature à confirmer cette opinion.

Nous donnons, à la suite de la présente note, quelques chiffres relevés par nous, au cours d'essais de bâtiments de l'espèce, depuis 1900, ou fournis par les constructeurs; ils concordent avec ceux que nous avons apportés au Congrès de 1900.

D'autre part, M. Yarrow, dans un rapport présenté au Congrès des « Naval Architects » en 1903, a fait connaître des expériences très intéressantes entreprises pour déterminer la valeur des navires de ce type en tant que remorqueurs.

M. Yarrow complète la voûte par l'addition d'un volet mobile (dont le principe avait d'ailleurs été imaginé déjà en France par M. Labat, ainsi que nous l'avions mentionné dans notre note précitée de 1900). Ce volet facilite le remplissage de la voûte, au départ, sous l'action de l'hélice.

Les essais de remorquage effectués par M. Yarrow ont été effectués comparativement entre un vapeur à roues latérales, et un vapeur de dimensions analogues à hélice sous voûte, et n'ont fait ressortir aucun désavantage pour ce dernier.

Nous avons mentionné, nous-même, dans notre mémoire de 1900, des expériences de remorquage, par vapeurs à voûte arrière calant 35 centimètres seulement, qui, sans même l'addition du volet de M. Yarrow, avaient donné des résultats entièrement satisfaisants. Plus récemment, nous avons, dans les conditions de recette d'un bâtiment de même type, de 0 m. 70 de tirant d'eau (également sans volet mobile), construit pour le Dahomey par MM. Claparède frères à Argenteuil, imposé des essais de remorquage qui figurent au tableau annexé à la présente note : nous avons obtenu sans difficulté la réalisation des obligations fixées par le marché.

Des études se poursuivent actuellement en vue de perfectionner les dispositifs employés par M. Yarrow. Le but à réaliser est, évidemment, d'arriver à faire le plein d'eau sous la voûte et à le maintenir, tout en réduisant, au-dessous des limites admises jusqu'ici, la portion de la surface d'hélice immergée au repos ; le tout, sans diminuer outre mesure le rendement du propulseur. Il en résulterait la possibilité de réduire encore les tirants d'eau des bateaux à hélice sous voûte sans que leur emploi cesse d'être pratique.

Nous croyons d'ailleurs que l'on pourrait arriver au même résultat en étudiant plus complètement l'emploi d'hélices multiples montées sur le même arbre et, au besoin, en le combinant avec l'emploi du volet de M. Yarrow et avec des formes de voûtes appropriées.

En tout état de cause, il semble que le navire à hélices sous voûtes constitue dès maintenant, et soit appelé plus encore à constituer à l'avenir, une solution, sinon parfaite, du moins très acceptable du problème de la navigation fluviale à faible tirant d'eau. Les formes de la voûte ont été étudiées de très près par les constructeurs intéressés, et un mémoire présenté, à ce sujet, par M. Berlhe de Berlhe, ingénieur du Bureau Veritas, à la session de 1903 de l'Association technique maritime, fournit des renseignements très intéressants sur les différentes solutions adoptées (voûte système Dubigeon, Oriolle ou Dela Brosse et Fouché, Claparède, Labat, Yarrow, Satre, etc.).

Le type en question présente, incontestablement, des inconvénients (dont nous avons signalé quelques-uns dans notre note au Congrès de 1900), notamment une tendance à la surimersion de l'arrière pendant la marche, et un accroissement, parfois considérable, de résistance en cours de route lorsque la hauteur d'eau diminue, sous la quille, au delà de certaines limites.

Mais on doit constater que, tel qu'il a été utilisé jusqu'ici, il a permis de réaliser des exploitations commerciales relativement importantes ; c'est ainsi que la Compagnie des Messageries fluviales de Cochinchine a mis en service, les premiers vers 1890, les derniers depuis 1894, six navires de l'espèce dont quatre ne calent pas plus de 0 m. 70 : et cette Compagnie transporte annuellement par ces vapeurs 1,000 à 1,500 passagers et 2 à 3,000 tonnes de marchandises dans des conditions de navigation parfois difficiles.

Nous ne parlerons que pour mémoire de l'application de ce système à la marine de guerre, en rappelant que le Gouvernement austro-hongrois a mis en service, récemment encore, sur le Danube, deux monitors « Temes et Bodrog », de 1 m. 22 de tirant d'eau, à hélices sous voûtes, dont la longueur dépasse 55 mètres et dont le déplacement atteint 440 tonnes avec une puissance motrice de 1,400 chevaux (700 chevaux par machine) développant une vitesse de 10 nœuds.

2° Moteurs.

L'emploi des hélices sous voûte est manifestement compatible avec toute espèce de moteur, à vapeur, à essence, à pétrole ou à gaz.

a) MOTEURS A VAPEUR. — Jusqu'ici, on n'a guère employé, dans la pratique courante, sur les bâtiments de l'espèce, que les machines à vapeur, à allure relativement rapide (300 à 400 tours) : Au point de vue économique, les moteurs de cette catégorie ont été étudiés et perfectionnés de telle sorte que l'on obtienne une dépense de combustible assez réduite pour que l'exploitation ne soit pas trop onéreuse.

Les machines de l'espèce sont bien connues, et leur description serait, par suite, sans intérêt.

Nous devons signaler toutefois que l'application des hélices sous voûtes, tout en conduisant, dans la plupart des cas, à l'emploi de deux hélices, en vue d'obtenir une surface d'action suffisante des propulseurs, n'exigera pas nécessairement, de ce fait, la mise à bord de deux moteurs.

M. l'ingénieur en chef de la marine Doyère a, récemment, construit pour le service des passagers sur la rivière « Min », un petit vapeur, le *Guan-Ki*, muni de deux hélices actionnées par une machine unique, qui a donné d'excellents résultats (les relevés d'essais figurent au tableau annexé à la présente note).

Le dispositif employé (appliqué, croyons-nous, pour la première fois à la Marine dans le cas précité) dérive de quelques installations spéciales employées à terre sur des moteurs pour laminoirs, pour indicateurs Root, pour machines à concasser les cannes à sucre, etc.

La machine unique (à triple expansion dans le cas du *Guan-Ki*) est placée longitudinalement dans l'axe du navire, à égale distance des arbres parallèles ; et *chaque piston commande deux bielles symétriques* dont les pieds sont articulés sur la même traverse et les têtes sur des manivelles symétriques des arbres tribord et bâbord. Sur la machine construite par M. Doyère, les boîtes à tiroir sont placées par côté, et les tiroirs commandés par des coulisses Stéphençon, dont les excentriques sont portés par l'un des deux arbres à manivelles, qu'on peut appeler l'arbre menant (celui de tribord sur le *Guan-Ki*), l'autre étant l'arbre entraîné. La puissance était ici de 160 chevaux à une

allure de 300 tours : les hélices n'étaient pas symétriques par rapport à l'axe du navire, leur diamètre étant supérieur à l'écartement des deux arbres. L'hélice tribord était un peu en avant de l'autre.

Bien que, dans le cas du *Guan-Ki*, le tirant d'eau en service (0 m. 61) ait permis de ne pas faire usage de la voûte, et d'adopter des hélices de 1 m. 05 de diamètre, émergeant, par suite, considérablement, au repos, il semble que rien ne s'oppose à ce que le même dispositif d'appareil moteur soit applicable aux bâtiments à voûtes lorsque la puissance à réaliser dépassera 100 ou 150 chevaux.

Il en résultera, incontestablement, une économie très notable sur les poids de machine, considération évidemment essentielle pour les petits tirants d'eau.

Il y a lieu de remarquer cependant que malgré le dispositif spécial adopté sur le *Guan-Ki* et malgré l'emploi d'une machine à triple expansion, et d'une chaudière aquatubulaire, le poids de l'appareil moteur et évaporatoire reste encore élevé ; il atteint encore 62 kilog. 5 par cheval.

D'une façon générale, l'inconvénient le plus grave des moteurs habituels à vapeur appliqués aux bateaux à faible tirant d'eau consiste dans leur poids relativement élevé.

Nous avons porté dans le deuxième tableau annexé à la présente note quelques relevés des poids par cheval sur quelques petits vapeurs de l'espèce. Ils sont compris entre 60 kilogrammes et 100 kilogrammes. Mais il faut y ajouter le poids du charbon qui varie, suivant la puissance du moteur, et selon que celui-ci est avec ou sans condensation, entre 0 kilog. 900 et 2 kilogrammes par cheval-heure, soit, en admettant, d'une façon générale, un approvisionnement pour 10 heures de marche, de 9 à 20 kilogrammes par cheval. Au total, sur les bâtiments à vapeur mentionnés au tableau, le poids à traîner, du fait du moteur, varie entre 70 et 111 kilogrammes par cheval *indiqué*, ce qui est considérable, et augmente notablement la difficulté du problème.

Récemment, MM. De la Brosse et Fouché, constructeurs à Nantes, ont essayé d'atténuer cet inconvénient par l'emploi d'une machine à haute pression et à allure particulièrement rapide. Ils ont construit, pour le service des Ponts et Chaussées, un petit vapeur, le *Léon-Bureau*, calant 41 centimètres, et actionné par une machine à triple expansion de 50 chevaux. La chaudière, à petits tubes, genre Du Temple, est timbrée à 25 kilo-

grammes. Le propulseur est constitué par une hélice sous voûte milieu, du système que nous avons décrit en 1900. Mais, au lieu de chercher à réaliser une hélice d'aussi grande surface que possible, les constructeurs ont réduit son diamètre à 52 centimètres et l'ont fait tourner à 900 tours, réalisant ainsi une machine particulièrement légère. Ils ont obtenu, avec une coque de 17 mètres de long sur 2 m. 80 de large, une vitesse supérieure à 8 nœuds, et un coefficient d'utilisation de 2.17, remarquable pour un propulseur aussi réduit et tournant à une telle allure. Le poids total machine, chaudière, eau et tuyautage atteint 46 kilogrammes par cheval, ce qui donne, en admettant une consommation de charbon de 900 grammes par cheval-heure et du combustible approvisionné, pour 10 heures, un poids à traîner, par cheval indiqué, de 55 *kilogrammes*. Ce chiffre est intéressant, et se rapproche de celui que l'on peut réaliser par l'emploi du moteur à *essence* marin étudié pour un bâtiment de service (et non, bien entendu, pour une embarcation de course).

L'étude de MM. De la Brosse et Fouché constitue donc, à coup sûr, une contribution intéressante au problème des communications relativement rapides par vedettes à vapeur sur des voies fluviales à très faible mouillage.

Mais, à notre avis, des pressions aussi élevées et des machines tournant à une telle allure exigent l'emploi d'un personnel mécanicien particulièrement soigneux, et sont peu compatibles avec une exploitation commerciale.

On peut se demander si la solution du problème, par l'application du moteur à vapeur, ne se trouverait pas dans l'emploi des turbines.

Mais le nombre de tours auxquels devraient fonctionner des turbomoteurs réalisant les puissances correspondantes aux petits navires dont nous nous occupons, serait de 3 à 4,000 environ.

Il faudrait, pour ramener le nombre de tours des propulseurs à un chiffre admissible, interposer entre les arbres porte-hélices et le moteur, des jeux d'engrenages ayant un rapport du tiers au moins.

Dans ces conditions, les hélices tourneraient encore à mille tours environ, et devraient être étudiées en vue d'éviter les phénomènes de cavitation si leur vitesse périphérique atteignait un chiffre assez élevé pour que ce phénomène fût à redouter.

Une telle vitesse permettrait d'ailleurs, en général, de dimi-

nuer le diamètre des propulseurs de façon à ne pas rendre nécessaire l'emploi de la voûte proprement dite, et l'on pourrait réduire alors cette dernière à une sorte de plan oblique émergeant, au repos, au-dessus de la flottaison, comme sur les torpilleurs.

Le même moteur pourrait actionner deux propulseurs (comme dans le cas de la machine de M. Doyère), en interposant deux trains d'engrenages, un de chaque bord.

L'inconvénient de l'emploi des turbomoteurs consisterait surtout dans la nécessité des engrenages intermédiaires dont, à notre avis, l'emploi n'est pas recommandable sur les machines marines. De plus, un turbomoteur auxiliaire serait nécessaire pour la marche arrière.

D'autre part, la vitesse considérable de rotation des propulseurs rendrait, croyons-nous, les petits bâtiments munis de ces moteurs peu aptes au remorquage. Ils seraient applicables surtout au service de la poste et des passagers.

L'avantage de ce système consisterait dans la facilité de conduite et le peu de surveillance qu'exigeraient les moteurs, et surtout dans l'économie de poids qu'ils permettraient de réaliser.

En faisant sommairement une étude de l'espèce sur un turbomoteur du système de M. l'ingénieur des mines Rateau, on arrive à un bénéfice de poids *minimum* de 10 kilogrammes par cheval par rapport à une machine à vapeur de même puissance tournant à 400 tours environ. Nous ne donnons, bien entendu, ce chiffre que comme une simple indication.

Il serait particulièrement intéressant de le contrôler par une étude détaillée d'une installation de ce genre. En tout état de cause, il serait très désirable, à notre avis, qu'une application de ce système pût être tentée pour les bateaux à faible tirant d'eau.

b) MOTEURS A EXPLOSION. — L'emploi des moteurs à explosion constitue, *a priori*, une solution des plus tentantes du problème de la navigation à faible tirant d'eau.

Le poids très réduit du moteur, sa mise en marche immédiate, la diminution de poids du combustible et la facilité de son emmagasinage sont des avantages tels, que le moteur à vapeur semble devoir être éliminé de ces seuls faits : Il n'en est point ainsi cependant.

Il est vrai que les moteurs à explosion, et plus particulièrement les moteurs à essence, ont été appliqués, il y a plusieurs années déjà, à la navigation de plaisance et spécialement à la navigation fluviale.

Le récent développement de ce sport a conduit à étudier de plus près les conditions à remplir pour approprier, à la navigation, les moteurs de voitures automobiles : on se bornait, au début, à les employer, pour ainsi dire, sans modification, en remplaçant simplement les connexions habituelles avec les roues motrices, par l'attelage sur l'arbre d'hélice.

On a obtenu des résultats intéressants en ce qui concerne la navigation de plaisance ; mais on n'a pas encore, du moins à notre connaissance, fait entrer, hors de la période d'essais, et dans la pratique courante, un moteur approprié à la navigation de service et présentant toutes les garanties que nécessite cette dernière.

Il y a, à notre avis, entre ces deux genres de navigation, une différence analogue à celle existante entre la voiture automobile et le camion automobile. La voiture automobile, faite pour une grande vitesse et munie d'un moteur de puissance appropriée ne développe, en général, que rarement et par intermittence, sa vitesse maxima et la puissance correspondante (nous ne parlons pas des courses qui exigent des machines pour ainsi dire parfaites, un personnel de conduite de choix, et une surveillance de tous les instants pour que le moteur travaille à la limite de sa puissance). Le moteur est donc très largement calculé pour le service courant. Le nombre de tours de la machine est d'ailleurs considérable, le poids de la voiture est aussi faible que possible et la puissance par tour est, par suite, très réduite.

Autre chose est le camion automobile où l'on doit, à une vitesse de route modérée mais constante, déplacer le poids minimum exigé par les besoins du camionnage. Ici la machine doit nécessairement développer d'une façon continue, pour un nombre de tours relativement faible des roues motrices, sinon sa puissance maxima, du moins une fraction minima de cette puissance. Elle doit, en outre, pouvoir suffire à l'effort de démarrage ; et son poids doit rester cependant modéré afin de ne pas réduire outre mesure le disponible pour le chargement.

Or, s'il existe des types nombreux de moteurs excellents pour voitures automobiles, il en existe peu, ou point, *d'économiques*

pour camions : et nous ne croyons pas que jusqu'ici, les entrepreneurs de camionnage ou de traction lourde aient trouvé un avantage certain à substituer le moteur à explosion, à la traction animale, ou même à le préférer au moteur à vapeur.

De même, la machine marine doit, avant tout, avoir une allure constante et produire *toujours et d'une façon continue*, la puissance de service, pour laquelle elle a été faite, et qui doit assurer, au bateau, en pleine charge, pendant toute la durée de la marche, la vitesse minima garantie. Ces conditions sont indispensables à toute exploitation commerciale.

S'il s'agit de bâtiments à faible tirant d'eau, le poids du moteur doit être en outre réduit au minimum, sous peine de perdre l'avantage essentiel de l'application des moteurs de ce type à ce genre de navigation.

En tout état de cause, la vitesse du moteur ne doit pas dépasser les limites nécessaires pour obtenir une utilisation convenable du propulseur, et pour éviter les phénomènes de cavitation. De ce fait, on est conduit ici, comme dans le cas du camionnage, à développer une puissance par tour relativement considérable.

Si le navire doit servir de remorqueur, ce qui, au point de vue commercial, sera une condition des plus fréquentes, l'obligation d'un nombre de tours modéré s'impose d'une façon encore plus absolue.

On peut, il est vrai, remédier à cette dernière difficulté en actionnant l'arbre d'hélice par l'intermédiaire d'un train d'engrenages. Mais c'est là, à notre avis, comme nous l'avons indiqué dans notre note de 1900, une solution peu recommandable en matière de machines marines.

L'ensemble de ces conditions complique singulièrement le problème de l'établissement d'un moteur à explosion pour la navigation à faible étiage.

Si maintenant on examine les diverses catégories de moteurs à explosion susceptibles d'être appliqués dans l'espèce, on est amené à faire des réserves immédiates sur l'emploi du type le mieux étudié et le seul entré jusqu'ici largement dans la pratique, celui des moteurs à essence.

Au point de vue spécial de la navigation dans les colonies, dont nous nous sommes plus particulièrement occupés, l'emploi de l'essence est difficilement applicable en raison des inconvénients qu'entraîne, pour l'approvisionnement, l'évaporation ra-

pide de ce produit sous l'action de la température extérieure, et ce, malgré toutes les précautions que l'on peut prendre.

A un point de vue plus général, la conservation à bord de *bateaux de charge*, d'un produit aussi inflammable, n'est pas sans entraîner des risques et des inconvénients graves. Pour y remédier, on serait conduit à limiter étroitement les quantités à embarquer et à constituer des approvisionnements aux diverses escales, ce qui ne sera pas toujours possible.

D'autre part, le prix élevé de l'essence grèvera considérablement l'exploitation lorsqu'on n'aura pas à transporter des marchandises riches susceptibles de payer un fret élevé.

Enfin, le réglage de la carburation, toujours délicat, et qui constitue la condition essentielle d'une bonne marche, se trouve, en matière de navigation, compliqué par l'influence de l'humidité ambiante sur le degré de saturation de l'air entrant dans le mélange.

L'emploi du pétrole lampant supprime l'inconvénient de l'emmagasinage, à bord, d'un produit dangereux. Il permet un approvisionnement aussi large qu'il est nécessaire. Mais l'observation qui précède, relative à la carburation, subsiste.

De plus, c'est un fait bien connu, que le pétrole lampant, laisse dans les cylindres, sur les bougies et les soupapes, après l'explosion, des résidus qui encrassent rapidement la machine et en paralysent, après quelque temps, le fonctionnement. Des tentatives ont été faites pour remédier à cet inconvénient, par divers procédés, mais nous n'en connaissons pas le résultat.

Cet inconvénient est aggravé par la difficulté de trouver, en l'état actuel, dans le commerce, des pétroles lampants identiques lorsqu'ils sont de provenances diverses et même parfois lorsqu'ils ont la même provenance : telle machine qui fonctionnera dans des conditions satisfaisantes avec un pétrole déterminé, donnera de mauvais résultats avec un produit d'une autre marque, même de densité identique.

Enfin, la densité et la composition de la vapeur de pétrole elle-même, produite par le chauffage du pétrole lampant, varient parfois d'un moment à l'autre.

Il résulte de toutes ces circonstances une incertitude dans la production de l'explosion et des variations, *parfois instantanées*, d'allure, qui sont incompatibles avec la marche régulière à exiger d'un bateau de charge.

Ces inconvénients sont incontestablement moins sensibles sur les machines de l'espèce fonctionnant à terre. L'approvisionnement de pétrole est, dans ce cas, facile. L'entretien du moteur est plus commode, et, de plus, la question du poids et de l'encombrement du moteur n'intervenant pas, il devient plus aisé de remédier aux difficultés signalées ci-dessus, par des dispositifs appropriés.

Il n'est pas douteux que l'on n'arrive, de même, à surmonter les difficultés en question sur les machines marines.

Mais, en l'état actuel, on doit constater que les moteurs marins à essence et surtout à pétrole lampant (si l'on en excepte les machines pour embarcations de courses) sont loin d'atteindre la légèreté de leurs congénères de la locomotion automobile, dès que l'on veut atteindre des puissances même de 50 à 60 chevaux seulement. En particulier, les volants dont on est obligé de munir ces moteurs pour en régulariser l'allure, augmentent le poids par cheval dans des proportions considérables.

Le tableau n° 3 annexé à la présente note mentionne quelques poids de machines à essence ou pétrole de divers types et notamment au 1° ceux de plusieurs appareils étudiés pour servir de moteurs à des chalutiers et déterminés à cet effet par M. l'ingénieur des constructions navales Guilloux. Ces derniers sont donc bien des appareils, non de sport, mais de service, et en rapport avec le genre de navigation qui fait l'objet du présent mémoire. Or, il ressort nettement du tableau, que, même avec les moteurs à *essence*, on est loin de réaliser le bénéfice de poids auquel on pourrait s'attendre, et que les moteurs à *pétrole lourd* atteignent et dépassent le poids d'un appareil à vapeur de même puissance.

La comparaison des chiffres portés aux 1° et 2° de ce tableau, avec ceux de quelques moteurs de course, ferait nettement ressortir l'écart entre ces deux catégories. A titre d'exemple, nous avons mentionné, en regard des précédents, le poids du moteur à essence « Delahaye » installé sur le racer *Titan*, construit sur les plans de M. Guilloux. La machine de cette embarcation pèse au total, avec son approvisionnement d'essence, 740 kilogrammes pour 55 chevaux effectifs, c'est-à-dire moins de 14 kilogrammes par cheval. Il est vrai que cette machine tourne à 1,500 tours, et que la coque elle-même, en deux plans de bordages croisés, de 3 centimètres d'épaisseur, ne pèse que 800 kilogrammes avec son armement.

Les conditions sont toutes différentes lorsqu'il s'agit d'établir les données d'une embarcation *de service*. Et il semble résulter nettement des considérations ci-dessus rappelées, comme des chiffres relevés, que ni le moteur à essence, ni celui à pétrole lampant ne constituent, jusqu'ici, l'engin, à la fois de faible poids et donnant toute sécurité, qui serait nécessaire pour la navigation à faible tirant d'eau.

Resterait à envisager le moteur à gaz pauvre.

Ici, semble-t-il, plus d'incertitude d'explosion, pas de tâtonnements dans la carburation ; emploi d'un combustible économique et consommation par cheval-heure relativement faible : tels seraient à première vue les avantages de ce système.

Mais l'ensemble des appareils, moteurs, laveurs, gazogènes, etc., conduit à un poids tel, qu'en l'état actuel on ne réaliserait sur la machine à vapeur aucune économie sérieuse.

Nous avons essayé de calculer les poids correspondants et nous avons trouvé qu'un moteur à gaz pauvre (voir tableau n° 4), de 60 chevaux effectifs, à 400 tours, pèserait de 125 à 150 kilogrammes par cheval (gazogène, moteur, laveur, etc., y compris l'eau et y compris le combustible approvisionné pour dix heures).

Or, si l'on compare cet appareil par exemple avec la machine à vapeur de 65 chevaux, tournant à 325 tours seulement, de la chaloupe pour Cayenne qui figure au tableau n° 2, on constate que, malgré la consommation élevée (1 kilog. 500 par cheval-heure) prévue pour cette dernière, le poids total de celle-ci ne ressort qu'à 92 kilog. 500 par cheval indiqué, soit 115 kilogrammes environ par cheval effectif (combustible pour dix heures compris).

Il résulte de ce qui précède, qu'aucune des solutions envisagées ne paraît satisfaisante en ce qui concerne le choix d'un moteur pour la navigation à faible tirant d'eau.

A notre avis, la solution pourrait consister dans l'emploi d'un moteur travaillant non seulement par explosion, mais encore par combustion dans le cylindre, de façon à pouvoir utiliser indifféremment, au moins dans une large mesure, des huiles lourdes à *bas prix* de nature et de densité diverses. Ce serait, en quelque sorte, la combinaison du moteur Diésel et du moteur à explosion, la combustion ayant pour but d'éviter, autant que possible, l'encrassement des cylindres produit par les résidus de l'explosion.

Nous étudions actuellement l'application à une petite vedette postale à hélice sous voûte arrière, d'un appareil établi sur ce principe et exploité par la « Société pour l'application à la navigation et aux chemins de fer des moteurs Fabre ».

L'embarcation à 0 m. 30 de tirant d'eau ; l'hélice de 0 m. 60 de diamètre tournera à 400 tours environ, le moteur développant 14 chevaux effectifs.

La machine doit fonctionner, à pleine puissance, indifféremment avec toutes les huiles brutes telles que pétroles du Texas, de Californie, Mazout, huile d'arachide et huile de goudron, le constructeur garantissant qu'il ne se produira pas d'encrassement sérieux après un fonctionnement continu de six mois.

Le combustible, quel qu'il soit, est pulvérisé au préalable sous une pression d'air obtenue par une pompe spéciale puis vaporisé dans une cornue, formant carburateur, que traversent les gaz d'échappement. La consommation ne doit pas dépasser 0 kilog. 500 par cheval-heure, quel que soit le combustible employé.

Mais, ici encore, le poids de la machine reste très considérable. Il dépasse 100 kilogrammes par cheval-heure : On peut toutefois espérer réduire sensiblement ce chiffre sur des moteurs de même type, mais de plus grande puissance.

II. Batellerie à traction mécanique sur les canaux ou voies navigables similaires.

Le problème de la traction mécanique sur les canaux a été étudié depuis fort longtemps.

On a essayé de substituer à la traction animale le halage électrique ou à vapeur, soit à l'aide de prise de courant sur la berge, soit au moyen de moteurs circulant sur le chemin de halage. Sauf quelques exceptions favorisées par les circonstances locales, on n'a pu aboutir à des solutions suffisamment pratiques pour réaliser, à coup sûr, une économie sensible sur la traction animale.

Le touage n'est guère applicable en raison, notamment, de la multiplicité des écluses.

Le remorquage est difficilement praticable par suite de l'étroitesse du plan d'eau, et des détériorations qu'un remorqueur, à hélice ou à roues, produirait sur les berges et le fond, même à

faible vitesse. Il ne peut d'ailleurs être économique qu'en s'appliquant à des trains de péniches de grande longueur qui ne peuvent alors, en général, traverser les écluses qu'en se fractionnant, puis en se reformant au sortir des sas, ce qui complique singulièrement le service.

Nous devons cependant rappeler une tentative intéressante constituée dans cet ordre d'idées, par le système P. Jacquel (moteur-propulseur et chaland accolés) qui a été mis en application vers 1879.

Le bateau propulseur est constitué par un petit vapeur de forme elliptique ayant une largeur un peu inférieure à la péniche, et une longueur supérieure des trois quarts, environ, à sa largeur. Il porte une chaudière et une machine à vapeur à hélice de 30 chevaux environ. Son tirant d'eau est celui de la péniche en pleine charge. L'arrière de la péniche présente une concavité dans laquelle le petit vapeur en question peut venir s'encastrer pour ainsi dire exactement. Un système d'accrochage permet au bateau propulseur de faire corps avec la péniche.

Lorsque celle-ci est en pleine charge, l'ensemble a, *grosso modo*, l'aspect d'un chaland d'une seule pièce dont le moteur se trouverait à l'arrière, et tout se passe comme s'il en était ainsi. Lorsque la péniche est déjaugée, on se borne à modifier le système d'accrochage en conséquence, et la poussée du moteur-propulseur continue à s'exercer par la partie, restant en contact, des deux coques. Pour une péniche de 5 mètres de largeur, de 30 mètres de long portant 250 tonneaux et ayant 2 m. 20 de creux, le moteur-propulseur avait 7 m. 85 de long, 4 m. 40 de large et 2 m. 40 de creux.

Ce système permettait évidemment d'assurer le service d'un ensemble de péniches identiques avec un nombre moindre de moteurs, ceux-ci étant détachés lorsque la péniche se trouvait immobilisée pendant le déchargement ou pour toute autre raison.

Quelques moteurs et chalands construits sur ce principe fonctionnent encore, croyons-nous, à Rouen.

Mais le seul fait que ce système, non seulement n'ait pas reçu de nouvelles applications, mais encore soit, pour ainsi dire, tombé dans l'oubli, indique suffisamment que la solution pratique du problème ne doit pas être cherchée dans ce sens.

A notre avis, la voie à suivre consisterait dans l'étude de la péniche automobile.

La difficulté réside ici non seulement dans le choix d'un moteur approprié, suffisamment économique pour faire concurrence à la traction animale, mais encore dans la possibilité d'utiliser le même moteur quel que soit l'état de chargement de la péniche, lège ou en pleine charge.

Une disposition ingénieuse a été réalisée, dans cet ordre d'idée, par M. Fernez.

La description en a été publiée dès 1901 ; nous nous bornons donc à rappeler que ce système consiste dans l'installation du moteur, généralement constitué par une locomobile, sur une plate-forme mobile, verticalement, à l'intérieur d'un compartiment étanche. Le moteur actionne deux roues à l'arrière de la péniche, et le réglage de la plate-forme en hauteur permet de déplacer l'axe des roues suivant l'état de chargement et le tirant d'eau de la péniche, de manière à obtenir, dans toutes les conditions de navigation, la même immersion des pales. M. Fernez a également étudié une variante à cette installation, en remplaçant la plate-forme mobile par un flotteur encastré à l'arrière de la péniche.

Ce système est à coup sûr intéressant et permet, sans nul doute, de réaliser la vitesse réduite nécessaire à la navigation en canaux.

Mais il a l'inconvénient d'exiger un mécanicien de métier à bord de la péniche et entraîne de ce seul fait, des frais supplémentaires qui peuvent grever assez lourdement l'exploitation.

En dernier lieu, des études très intéressantes ont été entreprises pour appliquer, à la traction des péniches, les machines à gaz pauvre.

MM. Desbois, Rancelant et Ollivaud, constructeurs à Choisy-le-Roy, ont construit, notamment, sous la surveillance du Bureau Veritas, et pour le compte de la Société des Bateaux automoteurs du Centre, des péniches en acier, de 38 mètres de long et 5 mètres de large environ, portant 250 tonnes.

Leurs formes dérivent des dernières études ou expériences faites sur la matière et notamment de celles de M. l'inspecteur général des Ponts et Chaussées de Mas.

Le moteur « Fram » à gaz pauvre, du type vertical motocylin-drique, développe sur l'arbre 20 chevaux effectifs. Son allure normale est de deux cents tours. Il actionne une hélice réversible qui se manœuvre du pont.

Le gazogène et le laveur sont installés en abord sur l'avant du moteur ; la caisse d'eau d'alimentation est placée sur le pont ; l'eau de circulation est prise à l'extérieur par une pompe spéciale. La soute à combustible forme coqueron : Et le tout est disposé de façon à n'occuper qu'une place insignifiante par rapport aux cales de chargement.

Le problème de l'application du moteur aux conditions extrêmes de chargement de la péniche est résolu de la manière suivante : Un premier arbre actionné directement par le moteur porte une hélice de grand diamètre placée dans les conditions normales pour la pleine charge. La même hélice sert encore en cas de déjaugage partiel, au besoin en laissant un bout d'aile émergé, comme cela a lieu pour les navires de mer naviguant à vide ou sur lest.

Une seconde hélice plus petite est disposée pour rester complètement immergée lorsque la péniche est légère : son arbre est alors actionné par l'intermédiaire d'une roue d'engrenage clavetée sur l'arbre principal (dont l'hélice est alors débrayée), et qui permet de réaliser un nombre de tours approprié à la surface plus faible de ce second propulseur.

Le fonctionnement de l'appareil moteur paraît, en tout cas, très simple et ne semble pas exiger l'emploi d'un mécanicien de métier. D'après les constructeurs, le personnel habituel suffit à assurer ce service après quelques jours d'éducation, le moteur ayant besoin de peu de surveillance, et n'exigeant que le chargement, à intervalles réguliers, du gazogène, et le remplissage des graisseurs.

D'après MM. Desbois, Rancelant et Ollivaud, les péniches décrites ci-dessus ont donné aux essais en Seine les résultats suivants : avec un chargement de 150 tonnes, vitesse à la descente 12 kilom. 400 ; vitesse à la montée, 4 kilom. 600 ; moyenne, 8 kilom. 500 ; — avec un chargement de 250 tonnes, vitesse à la descente, 8 kilom. 400 ; vitesse à la montée, 3 kilom. 300 ; moyenne, 5 kilom. 850.

Ces vitesses sont, évidemment, largement suffisantes pour les besoins de la navigation.

La consommation d'anthracite relevée au cours de ces essais a été d'environ 600 grammes par cheval-heure.

M. l'ingénieur des constructions navales Guilloux a étudié pour le canal du Midi, en partant, de même, de l'emploi d'un moteur à gaz pauvre, un chaland automobile de moindre dépla-

cement, mais de vitesse plus considérable. Les données principales en sont les suivantes :

Tirant d'eau en pleine charge, 1 m. 10.

Déplacement correspondant, 136 tonnes.

Poids du moteur, 4 Tx 500.

Poids de la coque, 25 Tx 500.

Disponible pour le chargement, 106 tonnes.

Puissance du moteur, 30 chevaux.

Vitesse en charge, 8 kilomètres.

Le propulseur est ici constitué par une hélice unique, tournant à 800 tours environ en marche à toute puissance : Quand le chaland est léger, le propulseur reste suffisamment immergé grâce à l'emploi d'un water-ballast, placé à l'arrière, que l'on remplit par une pompe commandée par le moteur, à l'aide d'une chaîne-galle et d'un débrayage.

La consommation de charbon (braisette maigre) prévue par cheval-heure est de 0 kilog. 500.

Il serait extrêmement intéressant de pouvoir comparer le prix de revient de l'exploitation des péniches mues par des moteurs à gaz pauvre, avec celui du même matériel actionné par traction animale.

Nous ne possédons pas, malheureusement, sur cette question de données d'expériences probantes.

Nous ne pouvons qu'indiquer les probabilités qui nous semblent pouvoir résulter du calcul.

En partant de l'étude de M. l'ingénieur Guilloux, et admettant comme vitesse *pratique* 5 kilomètres à 20 chevaux, la consommation de charbon par kilomètre sera de $\frac{0.500 \times 20}{3}$, soit

2 kilogrammes. La valeur du combustible employé dans l'espèce étant évaluée à 30 francs la tonne, la dépense kilométrique sera de 0 fr. 06, soit pour un chargement de 100 tonnes, 0 fr. 0006 par tonne kilométrique. Il faut ajouter à ce chiffre le prix de l'huile et du charbon d'allumage, soit en nombre rond, au total, 0 fr. 0010 par tonne kilométrique (un millime par tonne kilométrique).

Ce chiffre doit être, croyons-nous, considéré comme un maximum dans la pratique, car le même calcul appliqué à la péniche de tonnage courant (3 à 400 tonnes) conduirait à une dépense par tonne kilométrique sensiblement moindre.

Si l'on veut comparer les frais d'exploitation d'une péniche de ce système avec ceux de la même péniche à traction animale,

il y a lieu de remarquer que les frais afférents au personnel ainsi que l'amortissement et l'intérêt restent les mêmes dans les deux cas, sauf les majorations suivantes afférentes à la péniche à gaz pauvre :

1° Frais d'entretien du moteur ;

2° Amortissement et intérêts du prix du moteur ;

3° Amortissement et intérêts de la différence existante entre le prix de revient d'une coque de péniche à traction animale et celui d'une coque emménagée pour recevoir le moteur et affinée pour réaliser la vitesse prévue. On peut admettre pour ce calcul, que la différence de prix de revient entre les deux péniches (avec et sans moteur) sera de 15 à 20,000 francs.

Les quelques prix de traction animale que nous avons pu nous procurer sont les suivants :

Sur le canal de Saint-Quentin (péniches de 300 tonneaux environ), 0 fr. 003 par tonne de tonnage et par kilomètre, plus 0 fr. 0013 par tonne de marchandises, soit 0 fr. 0043 par tonne kilométrique pour la péniche pleine.

Dans l'Oise, le halage coûte 0 fr. 80 le kilomètre par bateau chargé, et le même prix pour deux péniches vides accouplées. Le prix de transport de la tonne kilométrique d'une péniche portant 300 tonneaux atteindrait donc 0 fr. 0027.

A titre de comparaison, nous rappellerons que, sur le Rhin, de Cologne à Rotterdam, le prix de remorquage est, d'après les renseignements figurant dans les documents que nous avons eus entre les mains, de 0 fr. 003 par tonne kilométrique.

La marge applicable au remboursement des frais d'entretien du moteur, ainsi qu'à l'amortissement et à l'intérêt de la plus-value d'une péniche à gaz pauvre varient donc, d'après les chiffres ci-dessus, et suivant les cas, entre 0 fr. 002 et 0 fr. 004 (en nombre rond) par tonne kilométrique.

C'est certainement peu, si l'on tient à faire l'amortissement dans un temps très court.

Mais, outre qu'il existe des régions, où les frais de traction animale sont notablement plus élevés, il faudrait tenir compte de ce fait que la péniche automobile, et par suite autonome, serait susceptible d'effectuer un service plus intensif, et serait moins sujette aux arrêts et aux retards de toute nature dus aux circonstances locales. Son rendement économique serait donc meilleur, et permettrait de couvrir un surcroît de dépenses.

En tout état de cause, nous estimons que l'essai de ce système mériterait d'être développé, et qu'il serait intéressant de recueillir des données aussi complètes que possible sur les résultats économiques que la pratique en fera ressortir.

III. Conclusions.

En résumé, on peut constater, croyons-nous, que dans ces dernières années, l'étude des formes des coques appropriées à la navigation de rivière, et notamment celle de la disposition des voûtes, a fait des progrès sensibles.

De même, l'étude des formes et les dimensions des péniches a conduit à de sérieuses améliorations, trop peu développées, cependant, jusqu'ici.

Mais le problème des moteurs appropriés tant aux vapeurs de faible tirant d'eau, qu'aux péniches automobiles, paraît loin d'être résolu au point de vue de la pratique commerciale courante.

En conséquence, nous proposons de mettre à l'étude du prochain congrès les questions suivantes, si elles n'ont pas fait l'objet, à la présente session, de communications de nature à les élucider :

1° Etude comparative des différents moteurs à vapeur, à essence, à huile lourde, à gaz, ou tous autres, applicables à la navigation *commerciale* sur les rivières à faible étiage. Comparaison de leur poids, de leur rendement, de leur consommation et de leur endurance.

2° Etude comparative des différents moteurs de toute nature applicables à la navigation sur les canaux. Etude du prix de revient du transport de la tonne kilométrique avec chaque système, en tenant compte de tous les éléments tels que consommation de combustible, entretien du personnel, amortissement, etc. ; et comparaison de ces chiffres avec les prix de revient des mêmes transports par traction animale.

Paris, le 7 décembre 1904.

A. WAHL.

Données et résultats d'expériences comparatifs de différents types de vapeurs à faible tirant d'eau

1° Bâtiménts de plus de 0 m. 50 de tirant d'eau

DÉSIGNATION DES BÂTIMENTS	Déplacement P	Longueur entre PP L	Largeur l	Tirant d'eau milieu p	Puissance réalisée aux essais P	Nombre de tours V	Vitesse en nœuds M	Diamètre du propulseur M	Surface immergée du maître-couple B²	Coefficient de finesse		OBSERVATIONS	
										$\frac{P}{B^2 L}$	$\frac{P}{L l p}$		
I												La valeur de M est déduite de la formule usuelle : $V = M \sqrt{\frac{P}{B^2}}$	
Vapeurs à hélices ordinaires													
<i>Guan-ki</i> à 2 hélices et 1 ma- chine	45	22.00 hors tout 22.50	5.25	0.61	100	270	8	2.56	1.05	3.30	0.685	0.633	Les vitesses et utilisation du <i>Guan-Ki</i> ne sont qu'appro- chées, en raison des con- ditions particulières des essais, qui laissent quelques incertitudes sur les relevés.
II													
Vapeurs à hélices sous voûtes													En route libre : Le même remorquant un chaland de 3 m² 75 du maître-couple, a réalisé une vitesse de 5 n. 6 aux essais.
Canonnière <i>Argus</i> à hélices sous voûtes	127.5	44.20	7.30	0.61	587	291	13.43	2.59	1.016	4.21	0.685	0.663	
Chaloupe à hélice sous voûte pour la Guyane, syst. Dubigeon, Vapeur pour le Dahomey à 2 hélices sous voûtes	18	16.00 hors tout 17.00	3.60	0.70	64	329	8.61	2.7	0.95	1.98	0.567	0.445	
<i>Liotard</i> , vapeur à 2 hélices sous voûtes, système Clapa- rède frères	62.6	25.50	4.60	0.72	181	239	8.9	2.3	0.96	3.14	0.781	0.741	
<i>Pé-Han</i> à 1 hélice sous voûte, système Claparède frères	53	25.00	4.60	0.65	142	316	8.5	2.25	0.82	2.64	0.803	0.709	
	11.4	12.00	2.30	0.70	42	310	7	2.25	0.90	1.38	0.727	0.590	

2° Bâtiménts de moins de 0 m. 50 de tirant d'eau et à hélices sous voûtes

Vedette pour Madagascar à 1 hélice sous voûte AR, système de la Brosse et Fonché. Vapeur <i>Léon Bureau</i> , pour le service des Ponts et Chaussées à hélice sous voûte milieu	4.3	10.00	2.22	0.43	24	365	7.45	2.44	0.61	0.835	0.513	0.452
Vapeur <i>Tinkisso</i> à 1 hélice sous voûte AR, système Claparède frères	12.3	17.00	2.80	0.41	50	900	8.1	2.17	0.52	0.95	0.761	0.630
<i>Kouango</i> , vapeur à 1 hélice sous voûte AR, système Claparède frères	5.2	10.00	2.30	0.365	20	380	7.07	2.36	0.65	0.75	0.693	0.619
	32.5	22.30	4.00	0.50	70	300	7	2.13	0.90	1.96	0.743	0.733

TABEAU N° 2

Moteurs à vapeur.

Poids des appareils moteurs et évaporatoires et du combustible approvisionné pour dix heures.

DÉSIGNATION DES BATIMENTS	Tirant d'eau	Nombre de tours prévu	Puissance prévue en chevaux F	Poids de l'appareil moteur et évapo- ratoire avec ligne d'arbres hélice, tuyautage, eau des chaudières. P	Poids par cheval $\frac{P}{F}$	Charbon approvisionné pour dix heures C	Total $P + C$	Poids total à entraîner par cheval $\frac{P + C}{F}$
	Mètres			Kilogrammes	Kilogrammes	Kilogrammes	Kilogrammes	Kilogrammes
Canonnière <i>Capitaine Flayelle</i> à 2 hélices sous voûtes mi- lieu	0.71	350	130	10,355	79,500	2,600	12,955	99,500
Chaloupe à hélice sous voûte AR pour Cayenne . . .	0.80	325	65	5,050	77,600	975	6,025	92,500
Vedette à hélice sous voûte AR pour Madagascar . .	0.45	340	22	1,545	70,000	396	1,941	88,000
Vapeur pour le Dahomey à 2 hélices sous voûtes AR .	0.70	290	150	15,170	101,000	1,500	16,670	111,000
Vapeur <i>Guan-Ki</i> à 2 hélices sans voûtes	0.61	300	160	10,000	62,500	1,440	11,440	71,500
Vedette à 2 hélices sous voûtes arrière pour le Sé- négal	0.35	375	60	4,000	66,000	650	4,650	77,500

Nota. — Les valeurs des puissances portées au présent tableau sont données en chevaux indiqués, Pour leur comparaison avec les puissances des moteurs à explosion portées au tableau n° 3, elles doivent être diminuées de 20 à 25 %. De même, pour les compa- raisons des poids par cheval portés au présent tableau avec ceux du tableau n° 3, les poids par cheval, ci-dessus, doivent être majorés de 20 à 25 %.

1° Poids approximatif de diverses machines à explosion étudiées pour servir de moteurs à des chalutiers.

A. — Moteurs à essence.

TYPE	Nombre de tours	Puissance en chevaux F	Poids du moteur avec son carburateur P	Poids du chargement de marche p	Réservoir et tuyautage p'	Approvision- nement de combustible pour dix heures p²	Poids total P + p + p' + p²	Poids par cheval P + p + p' + p² F
			Kilogrammes	Kilogrammes	Kilogrammes	Kilogrammes	Kilogrammes	Kilogrammes
Gnome.	600	60	1,200	150	500	300	2,150	36
Panhard ou Delahaye. . . .	1,500	60	500	100	500	300	1,400	23
Abeille (Dalifol).	650	60	1,500	150	500	300	2,450	41

B. — Moteurs à pétrole lourd.

Kapitain (pouvant être em- ployé comme moteur à gaz).	400	60	3,300	200	600	350	4,450	74
Duplex (pouvant être em- ployé comme moteur à gaz sans modification impor- tante, muni d'une mise en marche à air comprimé). .	400	60	5,000	300	700	350	6,350	106

2° Poids de divers moteurs à pétrole lampant pour yachts ou canots.

Priestmann (yacht <i>Fleur de France</i>).	240	30	3,700	1,000	100	180	4,980	166
Gnome (embarcation de ser- vice pour le canal de Suez)	300	13	1,200	300	55	60	1,615	124
Moteur Sautter Harlé pour canot de 10 mètres destiné à la Côte d'Ivoire.	800	10	392	161	46	45	644	64

3° Poids d'un moteur de racer de course.

Moteur Delahaye du racer <i>Titan</i>	1,500	55	450	50	30	210	740	13,500
--	-------	----	-----	----	----	-----	-----	--------

TABEAU N° 4

Poids approximatifs de moteurs à gaz pauvre.

	Puissance en chevaux effectifs F	Nombre de tours du moteur	Poids avec le charbon en action et l'eau P	Poids du gazogène seul et de ses accessoires par cheval $\frac{P}{F}$	Charbon d'approvi- sionnement pour 10 heures p	Poids du moteur p'	Poids total $P + p + p'$	Poids par cheval effectif $\frac{P + p + p'}{F}$	OBSERVATIONS
Gazogène à anthracite, type Taylor, à marche rapide, avec moteur Duplex	20	400	1,300	Kilog. 65	Kilog. 100	Kilog. 3,000	Kilog. 4,700	Kil. g. 235	Avec une machine à 250 tours seulement et un gazogène ap- proprié, on arrive- rait à un poids total par cheval effectif de près de 280 kilo- grammes.
Gazogène à anthracite, type Taylor, à marche rapide, avec moteur Duplex	60	400	3,650	72.5	300	5,300	9,250	154	
Le même, avec moteur Kapitain .	20	400	1,300	65	100	1,750	3,250	162	
Le même, avec moteur Kapitain .	60	400	3,650	72.5	300	3,500	7,450	124	
Le même, construit pour une puis- sance de 100 chevaux effectifs .	100	400	5,150	51.5	500	—	—	—	

	Puissance en chevaux effectifs F	Poids de l'appareil vide P	Poids du charbon en action et eau p	Poids par cheval $\frac{P + p}{F}$
Gazomètre à marche lente pouvant brûler du charbon maigre, type Fichet et Heurtey (moteur non compris)	20	Kilog. 4,000	Kilog. 600	Kil. g. 230
	50	7,500	800	166
	100	10,500	1,200	117

